



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SILENCIADOR PARA LOS MODELOS 1.5T Y 2.0T DEL ZOTYE T600 PARA LA EMPRESA CIAUTO DE AMBATO”

**ANDRES EDISSON ÁGUILA LEÓN
ANDRES ALEJANDRO COLOMA VILLALBA**

TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2018**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-06-23

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANDRES EDISSON ÁGUILA LEÓN

Titulada:

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SILENCIADOR PARA LOS MODELOS
1.5T Y 2.0T DEL ZOTYE T600 PARA LA EMPRESA CIAUTO DE AMBATO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy
DIRECTOR

Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-06-23

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANDRES ALEJANDRO COLOMA VILLALBA

Titulada:

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SILENCIADOR PARA LOS MODELOS
1.5T Y 2.0T DEL ZOTYE T600 PARA LA EMPRESA CIAUTO DE AMBATO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy
DIRECTOR

Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANDRES EDISSON ÁGUILA LEÓN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SILENCIADOR PARA LOS MODELOS 1.5T Y 2.0T DEL ZOTYE T600 PARA LA EMPRESA CIAUTO DE AMBATO”

Fecha de Examinación: 2018-04-24

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy DIRECTOR			
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Guamán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANDRES ALEJANDRO COLOMA VILLALBA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SILENCIADOR PARA
LOS MODELOS 1.5T Y 2.0T DEL ZOTYE T600 PARA LA EMPRESA CIAUTO DE AMBATO”

Fecha de Examinación: 2018-04-24

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy DIRECTOR			
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Guamán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Andrés Edison Águila León

Andrés Alejandro Coloma Villalba

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Andrés Edison Águila León y Andrés Alejandro Coloma Villalba, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Andrés Edison Águila León
Cedula de Identidad: 180435110-2

Andrés Alejandro Coloma Villalba
Cedula de Identidad: 172183631-8

DEDICATORIA

Dedico este logro obtenido quienes me dieron la fortaleza y perseverancia para poder alcanzar esta anhelada meta. A mi familia como es mi Padre, Madre y principalmente a mi Abuelito Manuel Águila, quien me supo apoyar moralmente y económicamente, Mayra Moyolema una mujer quien siempre estuvo a mi lado a lo largo de mi carrera apoyándome en momentos difíciles

Andrés Edison Águila León

Dedico de manera especial este logro a mi madre Myriam por ser el cimiento de mi formación profesional, que siempre me ha aconsejado y dado su cariño, a mi padre Otto quien siempre ha sido mi modelo a seguir forjando en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación personal, a mi esposa Alejandra que ha creído en mi capacidad y me ha alentado a lo largo de los años de estudio, a mi abuelita Angelita Navarrete que fue una segunda madre para mí, a quien espero enorgullecer al haber concluido con esta etapa de mi vida.

Andrés Alejandro Coloma Villalba

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz la cual siempre ha contado con docentes de calidad, los cuales nos han impartido sus conocimientos para la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Andrés Edison Águila León

A mi *alma mater*, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente a la Escuela de Ingeniería Automotriz por habernos acogido durante tantos años en sus aulas, a sus excelentes docentes por impartirme su conocimiento formándome como profesional.

A mis queridos padres Myriam y Otto por haberme apoyado durante mi carrera siendo el pilar fundamental de mi formación académica y humana, a mi amada esposa Alejandra Velasco por haber sido un gran apoyo y fuente de motivación para superarme, a mi tía Doris quien a pesar de la distancia siempre ha estado pendiente y se ha enorgullecido de mí siendo un referente del amor a la familia, a mi tío Christian que ha sido como un hermano mayor y un gran amigo, a mi hermana mayor Gabriela aunque pareciese que siempre hemos estado en batalla siempre has estado conmigo cuando lo he necesitado y mi hermano David por ser un buen amigo con el cual he compartido muchos momentos importantes, a mi prima Gabriela Pazmiño por haber sido mi consejera y amiga, por último, a mis amigos, compañeros y personas que me han acompañado a lo largo de tantos años.

Andrés Alejandro Coloma Villalba

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.5 Metodología.....	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Motor de combustión Interna	5
2.2 Sobrealimentación	6
2.2.1 <i>Sobrealimentación en los motores de gasolina</i>	6
2.3 Sistema de escape	7
2.3.1 <i>Múltiple de escape</i>	7
2.3.2 <i>Convertidor catalítico</i>	8
2.4 Contrapresión en el sistema de escape	9
2.5 Influencia de la contra presión en la sobrealimentación	10
2.6 Cálculos en el sistema de escape.....	11
2.6.1 <i>Cálculo longitud colector de escape</i>	11
2.6.2 <i>Grados de escape del diagrama de distribución.</i>	11
2.6.3 <i>Diámetros del colector de escape.</i>	11
2.6.4 <i>Diámetro del escape primario.</i>	12
2.6.5 <i>Contrapresión del tubo de escape.</i>	12
2.7 Silenciador	13
2.7.1 <i>Tipos de silenciadores.</i>	14
2.8 Ruido.....	15
2.8.1 <i>Fuentes de ruido en motores</i>	15
2.8.2 <i>Ruido de admisión y escape.</i>	16
2.8.3 <i>Soluciones en el sistema de transmisión: Silenciadores</i>	17
2.9 Ingeniería inversa	17
2.10 Proceso de diseño de ingeniería.....	19
2.11 CAD (Computer-aided Design).....	20
2.12 CAE (Computer Aided Engineering)	21
2.13 Métodos de Discretización.....	22

2.13.1	<i>Método de elementos finitos FEM</i>	23
2.13.2	<i>Método de volúmenes finitos FEV</i>	23
2.14	CFD (Computacional Fluid Dynamics)	25
2.15	ANSYS	26
2.15.1	<i>ANSYS SpaceClaim</i>	27
2.15.2	<i>ANSYS CFX</i>	28
2.15.3	<i>ANSYS ACT</i>	29
2.16	Etapas del diseño asistido por ordenador	30
3.	SIMULACIÓN CFD Y ACÚSTICA PARA EL SILENCIADOR DEL VEHÍCULO ZOTYE T600 1.5T Y 2.0T	34
3.1	Pre-proceso de Simulación del modelo CFD	34
3.1.1	<i>Obtención de los valores</i>	35
3.1.2	<i>Proceso de medición</i>	36
3.1.3	<i>Ordenamiento de los valores obtenidos</i>	38
3.1.4	<i>Digitalización del silenciador del Zotye T600</i>	41
3.1.5	<i>Generación de la malla</i>	46
3.2	Proceso de Simulación	49
3.2.1	<i>Simulación en ANSYS CFX</i>	49
3.2.2	<i>Simulación en ANSYS ACT</i>	58
3.2.3	<i>Generación de alternativas</i>	63
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
4.1	Simulación en ralentí (800rpm) con 1.7m/s de entrada al sistema	67
4.1.1	<i>Velocidad interna del fluido</i>	67
4.1.2	<i>Presión interna de las cámaras</i>	69
4.1.3	<i>Temperatura interna del fluido</i>	69
4.2	Simulación en media carga (4000rpm) con 5.2m/s de entrada al sistema	70
4.2.1	<i>Velocidades del fluido</i>	71
4.2.2	<i>Presión interna de las cámaras</i>	72
4.2.3	<i>Temperatura interna del fluido</i>	72
4.2.4	<i>Transferencia de calor al sólido</i>	73
4.3	Simulación en carga completa (5500rpm) con 7.1m/s de entrada al sistema	74
4.3.1	<i>Velocidad interna del fluido</i>	74
4.3.2	<i>Presión interna de las cámaras</i>	78
4.3.3	<i>Temperatura interna del Fluido</i>	79
4.3.4	<i>Transferencia calor al sólido</i>	79
4.3.5	<i>Comparación de temperaturas en un punto</i>	80
4.3.6	<i>Comparación de presiones en un punto</i>	81
4.3.7	<i>Comparación del flujo másico en las entradas y salidas en el silenciador</i>	81

4.3.8	<i>Perdida de transmisión en el silenciador</i>	82
4.3.9	<i>Perdida de transmisión en el resonador</i>	84
4.3.10	<i>Comparación del material utilizado en el silenciador</i>	86
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2 Tabla comparativa de las principales tecnologías de digitalización.....	19
Tabla 1-3 Mediciones de velocidades y temperaturas en las 2 versiones del vehículo Zotye T600.....	40
Tabla 1-4 Comparación de los valores de velocidad en la entrada y las salidas de los silenciadores.....	77
Tabla 2-4 Comparación de los valores temperatura transferida al sólido en un punto de la tapa lateral silenciador original y las alternativas.....	79
Tabla 3-4 Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.....	80
Tabla 4-4 Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.....	80
Tabla 5-4 Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.....	81
Tabla 6-4 Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.....	83
Tabla 7-4 Comparación de los valores del volumen del material en el silenciador.....	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2 Motor sobrealimentado (turbo, compresor).....	6
Figura 2-2 Esquema de recorrido de gases en conductos de admisión y escape.	7
Figura 3-2 Sistema de escape del vehículo.....	8
Figura 4-2 Múltiple de escape fundido.....	9
Figura 5-2 Múltiple de escape tubular con convertidor catalítico acoplado....	10
Figura 6-2 Principales dimensiones de un escape.....	14
Figura 7-2 Silenciador Zotye T600.....	15
Figura 8-2 Escáner 3D del Centro de Fomento Metalmecánico y Carrocero en Ambato.....	20
Figura 9-2 Proceso clásico de diseño.....	21
Figura 10-2 Aplicación CAD en diseño mecánico.....	22
Figura 11-2 Contornos de esfuerzos en la horquilla superior y nudillo de suspensión de camiones de camión de construcción.....	23
Figura 12-2 Representación de una malla estructurada para el método de discretización de elementos finitos.....	24
Figura 13-2 Representación de una malla estructurada para el método de discretización de volúmenes finitos.....	25
Figura 14-2 Triangulación Delaunay usada para mallar espacios discretizados para solucionadores FEM y FEV.....	26
Figura 15-2 Flujo de gases de escape a través de un silenciador.....	27
Figura 16-2 Pre-proceso CAE estructural.....	29
Figura 17-2 Deflexión del filo de la primera aleta de un turbo compresor.....	30
Figura 18-2 ANSYS ACT piezo + Acoustics.....	31
Figura 19-2 Proceso de diseño usando una herramienta CAD.....	32
Figura 20-2 Presión total en comparación del flujo de aire del silenciador original (arriba) y reducido (abajo).....	33
Figura 21-2 Presión total en comparación de la presión de contorno del silenciador original (arriba) y reducido (abajo).....	34
Figura 1-3 Zotye T600.....	35
Figura 2-3 Anemómetro digital Peakmeter modelo MS6252A.....	36
Figura 3-3 Multímetro digital Vici VC99.....	36
Figura 4-3 Utilización del anemómetro para medir los valores de velocidad de los gases de escape.....	37
Figura 5-3 Utilización del anemómetro para medir los valores de velocidad de los gases de escape.....	37
Figura 6-3 App Piston para Android con los datos en tiempo real del vehículo Zotye T600.....	38
Figura 7-3 Utilización del multímetro para medir los valores de temperatura de los gases de escape.....	38
Figura 8-3 Grafica de regresión no lineal Zotye 1.5T.....	39
Figura 9-3 Grafica de regresión no lineal Zotye 2.0T.....	39

Figura 10-3	Ubicación de las velocidades en el sistema de escape.....	41
Figura 11-3	Tubo de ingreso al silenciador en nube de puntos del formato STL.....	41
Figura 12-3	Tubo de ingreso al silenciador en superficies generadas por la triangulación Delunay.....	42
Figura 13-3	Vista lateral del silenciador para la obtención de la geometría.....	42
Figura 14-3	Generación de los tubos de salida del silenciador acoplados al resto del modelo.....	42
Figura 15-3	Comparación de tamaños del silenciador generado en CAD y el vehículo Zotye T600.....	43
Figura 16-3	Estructura interna de silenciador junto a la carcasa.....	44
Figura 17-3	Separadores internos y tubos perforados del silenciador.....	44
Figura 18-3	Pre-silenciador del vehículo Zotye T600.....	44
Figura 19-3	Geometría 3D en corte del pre-silenciador.....	45
Figura 20-3	Geometría 3D interna del silenciador acoplado a los tubos de entrada y salida.....	45
Figura 21-3	Volumen interno de las cámaras del silenciador.....	46
Figura 22-3	Volumen interno del silenciador generado en SpaceClaim.....	46
Figura 23-3	Mallado del sólido en el silenciador.....	47
Figura 24-3	Mallado del sólido en el pre-silenciador.....	47
Figura 25-3	Mallado del Volumen del fluido en el silenciador.....	48
Figura 26-3	Mallado del Volumen del fluido en el pre-silenciador.....	48
Figura 27-3	Histograma de calidad ortogonal de los elementos de la malla.....	49
Figura 28-3	Importación de la geometría mallada al módulo CFX.....	50
Figura 29-3	Modelo cargado en CFX.....	50
Figura 30-3	Selección del tipo de análisis.....	51
Figura 31-3	Selección del dominio del volumen del fluido.....	51
Figura 32-3	Parámetros del tipo de estudio para transferencia de calor.....	52
Figura 33-3	Selección del dominio del sólido del silenciador.....	52
Figura 34-3	Condiciones globales iniciales.....	53
Figura 35-3	Parámetros de frontera para la entrada.....	53
Figura 36-3	Parámetros de frontera para las salidas.....	54
Figura 37-3	Entradas y salidas definidas.....	54
Figura 38-3	Parámetros para la transferencia de calor por convección.....	54
Figura 39-3	Contactos entre el sólido y el fluido definidos para la transferencia de calor.....	55
Figura 40-3	Parámetros para el control a la salida.....	55
Figura 41-3	Propiedades térmicas del material para la transferencia de calor...	56
Figura 42-3	Parámetros de control de ejecución.....	57
Figura 43-3	Gráfico de la distribución de presiones en las cámaras de la simulación.....	57
Figura 44-3	Gráfico de los vectores de velocidad obtenido de la simulación...	57

Figura 45-3	Distribución de la transferencia de calor del modelo de la simulación.....	58
Figura 46-3	Vista en corte de la distribución de temperatura en el silenciador..	58
Figura 47-3	Barra de herramientas acústicas en la interfaz de ANSYS.....	58
Figura 48-3	Ajustes del análisis.....	59
Figura 49-3	Detalles del cuerpo Acústico.....	60
Figura 50-3	Propiedades físicas pertenecientes al fluido a utilizar.....	60
Figura 51-3	Ajustes del análisis.....	60
Figura 52-3	Ajustes del análisis.....	61
Figura 53-3	Menú de las condiciones de contorno en la barra de herramientas acústicas.....	61
Figura 54-3	Selección de las caras para los puertos de entrada y salida, además del volumen del fluido.....	61
Figura 55-3	Condiciones de radiación en la barra de herramientas acústicas y la selección de las caras de entrada y salida.....	62
Figura 56-3	Gráfica de resultado de potencia acústica en la barra de herramientas acústicas.....	62
Figura 57-3	Ajustes de la gráfica de resultado de potencia acústica.....	63
Figura 58-3	Alternativa número 1 del silenciador.....	63
Figura 59-3	Efecto de la longitud de la cámara sobre la frecuencia de atenuación máxima.....	64
Figura 60-3	Efecto del número de cámaras sobre la atenuación máxima generada.....	64
Figura 61-3	Alternativa número 2 del silenciador.....	65
Figura 1-4	Entorno de trabajo con las simulaciones en ANSYS CFX del diseño original y las alternativas en 3 regímenes.....	66
Figura 2-4	Comparación de velocidades internas del sólido en un plano, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	67
Figura 3-4	Comparación de velocidades internas del sólido por medio de vectores, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	67
Figura 4-4	Comparación de presiones internas de las cámaras, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	68
Figura 5-4	Comparación de temperaturas internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	68
Figura 6-4	Comparación de temperaturas externas en la carcasa, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	69
Figura 7-4	Comparación de velocidades internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	70
Figura 8-4	Comparación de velocidades del fluido mediante streamlines, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	70

Figura 9-4	Comparación de presiones internas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	71
Figura 10-4	Comparación de temperaturas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	71
Figura 11-4	Comparación de temperaturas internas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	72
Figura 12-4	Imagen termográfica del comportamiento de la distribución de calor en la superficie del silenciador del Zotye T600.....	72
Figura 13-4	Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	73
Figura 14-4	Comparación de velocidades internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	73
Figura 15-4	Comparación de trayectorias del fluido con streamlines, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	74
Figura 16-4	Comparación de trayectorias del fluido con vectores, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	74
Figura 17-4	Comparación de velocidades a la salida derecha del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 1 (rojo).....	75
Figura 18-4	Comparación de velocidades a la salida izquierda del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 1 (rojo).....	75
Figura 19-4	Comparación de velocidades a la salida derecha del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 2 (verde).....	76
Figura 20-4	Comparación de velocidades a la salida izquierda del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 2 (verde).....	76
Figura 21-4	Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	77
Figura 22-4	Comparación de temperaturas internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	78
Figura 23-4	Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).....	79
Figura 24-4	Gráfica de pérdida de transmisión en función de la frecuencia.....	81
Figura 25-4	Gráfica de pérdida de transmisión en función de la frecuencia del presilenciador.....	82

SIMBOLOGÍA

LC	Longitud del colector de escape	M
Ge	Grados de escape del diagrama de distribución	°
rpm	Número de revoluciones máximo del motor.	M ²
aee	Adelanto en la apertura de la válvula de escape	°
pms	Punto muerto superior.	°
pmi	Punto muerto inferior.	°
rce	Retraso en el cierre de la válvula de escape.	°
D	Diámetro del conducto.	m ²
Vc	Volumen unitario del cilindro	m ³
D(Te)	Diámetro del tubo de escape primario.	m ²
Vt	Volumen total del motor	m ³
P	Contra - presión en la tubería de escape.	KPa
L	Longitud útil equivalente de la tubería.	m
Q	Caudal de gas de escape.	m ³ /s
T	Temperatura de gas de escape.	K
k	Conductividad térmica	W/m*K
p	Densidad	Kg/m ³
Cp	calor específico	J/Kg*K

LISTA DE ABREVIACIONES

APDL	ANSYS Parametric Desing Language
AYMESA	Automóviles y Máquinas del Ecuador
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
CAE	Ingeniería Asistida por Ordenador
CFD	Dinámica Computacional de Fluidos
CSSM	Clasificación Final de la Mecánica Computacional Sólida y Estructural
CIAUTO	Ciudad del Auto
FEM	Método de elementos finitos
FEV	Método de volúmenes finitos
GM-OBB	General Motors Ómnibus
INDAPARTS	Industria Ecuatoriana De Partes Y Accesorios
IL	Perdida de Inserción
MARESA	Manufacturas, Armaduras y Repuestos Ecuatorianos S.A.
MCI	Motores de Combustión Interna
OBD	Diagnóstico a Bordo
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
TL	Perdida de Transmisión
XML	Lenguaje de Marcado Extensible.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A** Actas de conformidad emitida por CIAUTO S.A
- Anexo B** Stainless Steel: Tables of Technical Properties

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se desarrolló en un pre-silenciador y silenciador del vehículo Zotye T600 ensamblado por CIAUTO en la ciudad de Ambato, un análisis de mecánica computacional de fluidos y acústico mediante ingeniería asistida por ordenador con el software ANSYS CFX y ANSYS ACT respectivamente. En primer lugar, se generó la geometría por medio de levantamiento de planos y escaneo 3D con la ayuda del software CAD SpaceClaim. Los parámetros de entrada para las simulaciones tales como velocidad, temperatura y velocidad de giro del motor corresponden a valores recolectados mediante instrumentos de medición adecuados, en las versiones 1,5T y 2,0T del vehículo. En segundo lugar, se realizó la simulación CFD en ANSYS CFX puesto que es el solver de ANSYS más completo en transferencia de calor en interfaz fluido-sólido para analizar, de acuerdo a los resultados obtenidos en el silenciador se plantearon varias alternativas de diseño las mismas que fueron evaluadas en su funcionamiento y seleccionadas 2 de ellas, comparadas con el original por medio de CFD y la gráfica de pérdida de transmisión, determinando de esta manera las ventajas y desventajas de las alternativas. Se observó en la simulación acústica con respecto a la gráfica de pérdida de transmisión que no existe una diferencia significativa entre el diseño original y las alternativas, como consecuencia de esto se concluyó que las alternativas producen un beneficio sin un aumento significativo del ruido producto de la combustión del motor. Cabe recalcar que la generación y evaluación de alternativas mediante software CAE no reemplazan las pruebas experimentales las cuales deben realizarse, sin embargo ayuda a la simplificación del proceso de prototipado.

Palabras clave: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS (CFD)>, <SILENCIADOR>, <PERDIDA DE TRANSMISION>, <ANSYS CFX (SOLVER)>, <ACÚSTICA>, <SISTEMA DE ESCAPE>, <INGENIERIA ASISTIDA POR ORDENADOR (CAE)>, <DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR (CAD)>.

ABSTRACT

The present research project was developed in a pre- muffler and muffler of the Ztye T600 vehicle assembled by CIAUTO in Ambato city, an analysis of computational fluid dynamics and acoustic through computer aided engineering with the software ANSYS CFX and ANSYS Act respectively. First of all, the geometry was generated by means of the lifting of plans and 3D scanning with the help of SpaceClaim CAD software. The input parameters for the simulations such as speed, temperatura and speed of the motor turn correspond to values collected by means of suitable measuring instruments, in versions 1.5T and 2.0T of the vehicle. Secondly, the CFD simulation was performed in ANSYS CFX since it is the most complete ANSYS solver in heat transfer in fluid-solid interface to analyze. According to the results obtained in the muffler, several design alternatives were proposed, the same ones that were evaluated in their operation and selected two of them, compared with the original by means of the CFD and the transmission loss graph, determining in this way the advantages and disadantages of the alternatives. It was observed in the acoustic simulation with respect to the transmission loss graph that there is no significant difference between the original design and the alternatives, as a consequence. As a result of this it was concluded that the alternatives produce a benefit without a significant increase in the noise produced by the combustion of the engine. It should be noted that the generation and evaluation of alternatives using CAE software does not replace the experimental tests which must be carried out, however it helps to simplify the prototyping process.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)>, <MUFFLER>, <LOSS OF TRANSMISSION>, <ANSYS CFX (SOLVER) >, <ACOUSTICS>, <EXHAUST SYSTEM>, <COMPUTER-AIDED ENGINEERING (CAE)>, <COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD)>.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En los últimos 30 años el sector automotriz ha generado desarrollo tecnológico, lo cual contribuye a la matriz productiva del Estado Ecuatoriano atrayendo de esta manera inversiones, capacitaciones, tecnología y generación de divisas. Esto ha generado que empresas ensambladoras como CIAUTO inviertan en nuestro país, con un alto grado de tecnificación, son reconocidas por sus productos de alta calidad en el mercado nacional e internacional.

Según el Instituto de Producción y Exportaciones e Inversiones del Ecuador PRO ECUADOR la Industria Automotriz actualmente produce 6 tipos de vehículos y ofrece 11 distintos productos de la industria de fabricantes de autopartes.

Las empresas ensambladoras y productoras de autopartes están calificadas con normas internacionales especiales para la industria como QS 9000, ISO TS 16949:2002, ISO 14000 sobre medio ambiente y la 18000 sobre ergonomía, entre otras. (Ministerio de Comercio Exterior, 2017)

En el país se encuentran las ensambladoras, General Motors Ómnibus BB GM-OBB, MARESA, AYMESA, y CIAUTO productoras de vehículos de las marcas Chevrolet, Mazda, Kia y Great Wall respectivamente, debido a su alto grado de tecnificación, han logrado ser reconocidos por sus productos de alta calidad, reconocida en el mercado nacional e inclusive en sus destinos de exportación: Colombia, Venezuela, Perú, Centro América y el Caribe. (PROECUADOR, 2017)

La empresa ensambladora CIAUTO se ha posicionado en los primeros puestos del mercado automotriz una constante innovación tecnológica adquirida, actualmente ha

incorporado al mercado el ensamblaje de nuevo modelo Zotye T600 en sus 2 versiones 1.5 y 2.0L turboalimentados, debido a la normativa establecida, las empresas ensambladoras del país deben contar con 20% de partes nacionales, en este caso INDAPARTS es la empresa la cual provee todo lo concerniente a sistemas de escape.

Existe una diferencia de cilindraje que produce variaciones en la velocidad, presión y temperatura de los gases de escape, por ello se dispone de un silenciador diferente para cada modelo.

Debido a la producción en serie generada por la ensambladora, se requiere que el silenciador montado en el vehículo sea optimizado en la utilización de material y distribución interna del calor sin que se produzca un efecto negativo en cuanto a la reducción del ruido de la combustión y generación de contrapresión.

1.2 Planteamiento del problema

Con el pasar de los años el crecimiento del parque automotor en el país ha llevado a un inevitable crecimiento en la generación de contaminación auditiva, por ende las empresas automotrices han optado por diseñar y producir silenciadores los cuales cumplan con las normativas correspondientes a los “límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones-libro6 anexo 5” (Presidencia de la República del Ecuador, 2012).

Vistos los requerimientos del mercado, la empresa CIAUTO requiere de un solo silenciador para ambas versiones del modelo Zotye 1.5 y 2.0L, el cual optimice el uso de materiales reduciendo costos de fabricación sin incidir significativamente sobre su eficiencia.

Para lograr satisfacer la normativa correspondiente sobre la contaminación auditiva y lograr que la empresa no genere gastos excesivos e innecesarios se busca diseñar y construir un silenciador el cual cumpla con todos los requerimientos de operación necesarios para los dos modelos de la marca; siendo un gran aporte a la reducción de la contaminación auditiva contribuyendo al bienestar que el ser humano solicita diariamente, así como también la contribución a la matriz productiva del país.

1.3 Justificación

La reducción de peso del vehículo puede ser lograda usando materiales más ligeros o reduciendo el tamaño de los componentes existentes. Los investigadores de “VE Commercial Vehicles Ltd.” En India utilizaron este enfoque para diseñar un sistema de escape en un vehículo comercial utilizando la herramienta Fluent de ANSYS CFX, Resultando en una reducción del 14.1% del tamaño y volumen, así como una reducción del peso del 2%. (SAE, 2014)

La optimización de los silenciadores es uno de los retos más críticos de los ingenieros automotrices. Convencionalmente, el diseño de los silenciadores incluye los desafíos físicos más exhaustivos para varias combinaciones de silenciadores variando el diámetro de la tubería/ tamaño de las perforaciones/ posición del deflector/ volumen de amortiguación, etc. (SAE, 2014) Este proceso puede ser simplificado con la utilización de herramientas de simulación.

El uso de las herramientas de simulaciones ha mejorado el proceso de balancear el conflicto de los requerimientos tales como la contrapresión en el sistema de escape y el ruido. Valores altos de contrapresión indican una gran resistencia al flujo de los gases de escape. (Paucar Quinteros, y otros, 2011).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar y evaluar un silenciador para los modelos 1.5t y 2.0t del Zotye T600 para la empresa CIAUTO de Ambato.

1.4.2 Objetivos específicos

- Contrastar material bibliográfico respecto a los silenciadores adquiriendo información acorde a las necesidades del proyecto para poder fundamentar las alternativas generadas en el desarrollo de la propuesta tecnológica.
- Desarrollar el modelo del silenciador mediante software CAD para determinar las mejores alternativas de materiales y geometría.
- Analizar un silenciador mediante métodos de elementos finitos (CFD y acústico) y generar alternativas de diseño las cuales generen un beneficio.
- Evaluar el funcionamiento del silenciador mediante software CAE para validar el diseño (Materiales y Geometría) y funcionalidad.

1.5 Metodología

En el presente proyecto se utilizará una metodología bibliográfica, ya que, aplicando un análisis documental permite especificar los parámetros de diseño estipulados en los diferentes manuales técnicos de silenciadores, también se revisará estudios científicos realizados al diseño de silenciadores más utilizados.

Mediante el método de proyectos especiales se utilizará el software CAD SPACECLAIM para realizar un diseño en forma virtual permitiendo obtener la geometría según las características y especificaciones adecuadas de funcionamiento; para la simulación se utilizará el software CAE donde se realizara pruebas de funcionamiento aproximadas a la realidad, mediante estos dos tipos de software

podemos obtener datos que ayudarán a interpretar el comportamiento de flujo dentro del silenciador así como también la magnitud de sonido generado.

Mediante el método experimental se determinará los parámetros reales encontrados en los vehículos durante su funcionamiento, de esta manera, obteniendo los datos necesarios para proceder con su utilización en el software CAE.

Mediante el método experimental también se utilizará los datos obtenidos de los vehículos para compararlos con los resultados del software CAE y de esta manera determinar la eficacia del silenciador durante su funcionamiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motor de combustión Interna

El motor del automóvil es el encargado de transformar la energía química de un combustible en energía mecánica que será utilizada por este para generar el movimiento del vehículo. Estos motores se llaman de combustión interna porque realizan su trabajo en el interior de una cámara cerrada mediante la aportación del calor generado en su interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovecha como fuente de energía. (Hermógenes Gil Martínez, 2008). Conforme el paso de los años los sistemas de los motores han ido evolucionando logrando una mayor eficiencia en su funcionamiento el cual ha mantenido su misión principal con el paso de los años.

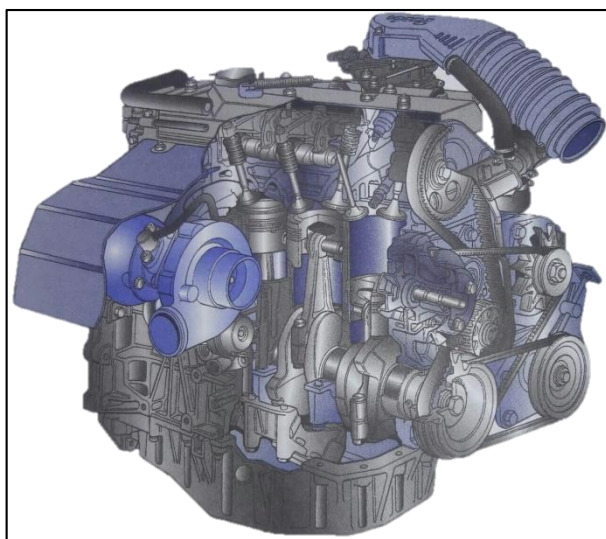


Figura1-2: Motor sobrealimentado (turbo, compresor)

Fuente: (Hermógenes Gil Martínez, 2008)

Una de las características fundamentales de cualquier motor de combustión es la reacción de un hidrocarburo combustible con oxígeno para formar dióxido de oxígeno y agua. La meta del motor será el utilizar la energía repetidamente, eficientemente y costo-efectiva. (Hoag, y otros, 2016 pág. 1).

2.2 Sobrealimentación

Para incrementar la potencia específica de salida de un motor alguna forma de pre-compresión es con frecuencia considerada. Esto se ha convertido en una práctica estándar en motores diésel, y es visto con frecuencia en motores de ignición por chispa de alto desempeño. El motor que absorbe aire fresco al cilindro a presión ambiental y lo expulsa directamente a la atmosfera es conocido como de aspiración natural. Teniendo en cuenta que los gases de escape que salen del motor aun contienen una parte significativa de energía que no ha sido recuperada como trabajo, una alternativa es utilizar parte de esta energía al compresor. (Hoag, y otros, 2016 pág. 7).

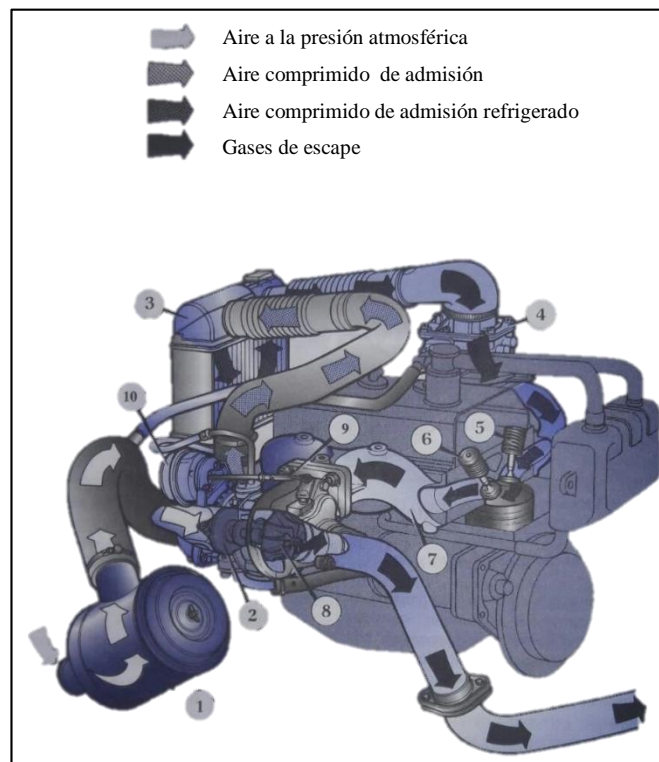


Figura 2-2: Esquema de recorrido de gases en conductos de admisión y escape

Fuente: (Hermógenes Gil Martínez, 2008)

2.2.1 *Sobrealimentación en los motores de gasolina*

En el caso de los motores de gasolina la sobrealimentación, presenta un problema al sobrepasar cierta presión de compresión la que se presenta con problemas de pistoneo, bien por autoencendido o por detonación. Otro problema que hay que sumar a estos

motores lo representa el aumento de las cargas térmicas y mecánicas. Efectivamente, las presiones durante todo el ciclo de trabajo en un motor sobrealimentado son sensiblemente más elevadas, por tanto no se pueden rebasar los límites mecánicos que pueda soportar el motor. En el escape, la sección de las canalizaciones una vez superada la turbina se agranda para reducir en la medida de lo posible las contrapresiones que se originarían en este punto. Asimismo al producir la turbina una descompresión de los gases de escape los motores turbo son más silenciosos. La contaminación que provocan los motores turboalimentados de gasolina es comparable a la de un motor atmosférico aunque los óxidos de nitrógeno son más importantes debido a las mayores temperaturas. (Hermógenes Gil Martínez, 2008 págs. 432,433)

2.3 Sistema de escape

El sistema de escape de un automóvil está conformado por el múltiple de escape, el convertidor catalítico, el pre-silenciador (resonador) y el silenciador. Estas partes así forman una tubería que sirve como camino de salida de los gases de escape del motor hacia el medio ambiente.

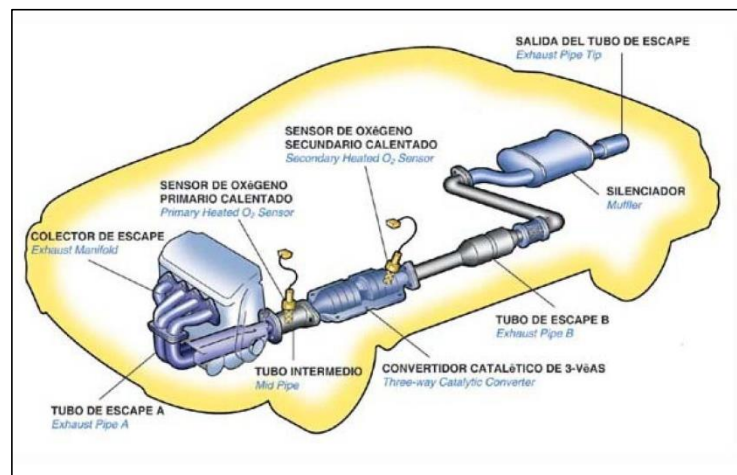


Figura 3-2: Sistema de escape del vehículo

Fuente: (Toyocosta, 2014)

2.3.1 Múltiple de escape

El múltiple de escape es el encargado de canalizar la salida de los gases desde la culata al exterior. Tiene que tener, un diseño adecuado para no crear contrapresiones en los gases y facilitar su salida. Además deben estar contruidos en un material altamente resistente a las altas temperaturas. La disposición y forma de los tubos de salida varía

según el diseño de los fabricantes para cada motor específico. (Hermógenes Gil Martínez, 2008 pág. 31).

Una consideración de diseño de múltiples de escape para motores turboalimentados es referido como “conservación de pulso”. Cada tiempo que la válvula de escape se abre la diferencia de la presión inicial a través de la válvula resulta en un pulso de alta presión. El objetivo de la conservación de la transferencia adicional de energía del pulso de presión a la turbina de admisión con la menor dispersión posible, y sin interferir con el flujo de escape de los cilindros adyacentes. Para lograr minimizar la disipación del pulso los cambios repentinos de volumen con las tuberías del sistema de escape deben ser evitados, y la restricción y la rugosidad de la superficie deben ser minimizadas. (Hoag, y otros, 2016 pág. 170)

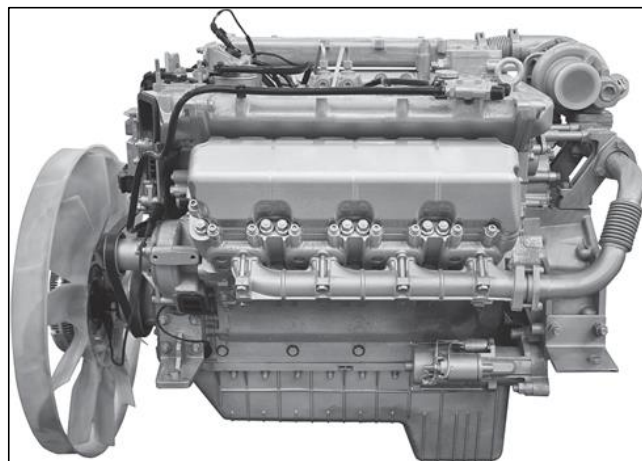


Figura 4-2: Múltiple de escape fundido

Fuente: (Hoag, y otros, 2016)

2.3.2 *Convertidor catalítico*

Como resultado de la combustión interna del motor, los gases de escape contienen componentes residuales, entre ellos nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua, que son inofensivos. Pero dependiendo de las condiciones de funcionamiento también pueden formarse monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), componentes que resultan nocivos para el ser humano y el medio ambiente. La existencia de esos elementos contaminantes en los gases de escape es consecuencia de una combustión imperfecta, estas emisiones contaminantes están reglamentadas para evitar que se viertan valores elevados de gases contaminantes a la atmosfera. (Arias Paz, 2006 pág. 133)

En respuesta a las necesidades de reducir los gases nocivos a gases inofensivos se recurre mayormente a la utilización de convertidores catalíticos o simplemente catalizadores los cuales al hacer circular los gases de escape a través de un monolito cerámico recubierto de platino y rodio que actúan sobre los óxidos de nitrógeno convirtiéndolos en simple nitrógeno y en el monóxido de carbono transformándolo en dióxido de carbono, en catalizadores más modernos se tiene la capacidad de reducir los hidrocarburos no combustionados .

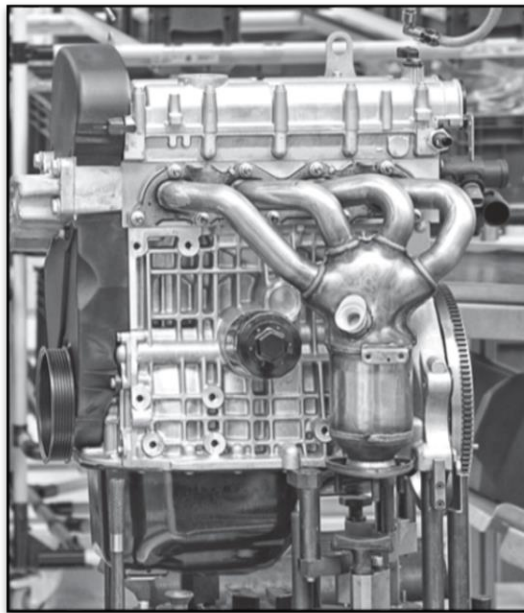


Figura 5-2: Múltiple de escape tubular con convertidor catalítico acoplado

Fuente: (Hoag, y otros, 2016)

2.4 Contrapresión en el sistema de escape

La diferencia entre la presión media en el tubo de escape y la presión atmosférica es la denominada contrapresión en el sistema de escape. El valor de la contrapresión es una medida de la resistencia al flujo libre de los gases a través de los diferentes componentes del sistema de escape; éste parámetro permite evaluar las restricciones ocasionadas por el silenciador, tuberías demasiado largas, tuberías de diámetro demasiado pequeño, cambios de dirección bruscos, etc. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

Valores altos en la contrapresión indican una gran resistencia al flujo de los gases de escape mientras que los valores bajos de contrapresión indican una resistencia al flujo muy baja. Generalmente los fabricantes de motores indican los valores máximos admisibles de contrapresión en el sistema de escape de manera que el funcionamiento del motor no se vea afectado. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

Una contrapresión demasiado elevada produce:

- 1) Una pérdida de potencia.
- 2) Un aumento en el consumo del combustible.
- 3) Una temperatura de escape demasiado elevada.

Estas condiciones de trabajo entrañan un sobrecalentamiento y humos excesivos esto reduce la longevidad de las válvulas y turbocompresor. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

2.5 Influencia de la contra presión en la sobrealimentación

Los motores sobrealimentados tienen mayores problemas en su funcionamiento que los motores naturalmente aspirados cuando se presenta un aumento de la contra presión en el sistema de escape. En el turbo compresor se aprovechan los gradientes de temperatura y presión entre la entrada y la salida de la turbina para producir energía cinética que hace girar al eje que une la turbina con el compresor, este último eleva la presión del aire que es enviado hacia la admisión del motor. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

Mientras mayor sea la contra presión en los elementos del sistema de escape, menores serán los gradientes de presión y temperatura entre la entrada y la salida de la turbina por lo que se tendrá menor energía cinética para impulsar al compresor y por ende menor cantidad de aire será enviada al motor por unidad de tiempo. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

Una disminución del aire disponible para la combustión provocará una disminución en la potencia del motor, incremento en las emisiones contaminantes e incremento del consumo del combustible. (Paucar Quinteros, y otros, 2011)

2.6 Cálculos en el sistema de escape.

Un cálculo adecuado de las dimensiones y geometrías de un sistema de escape ocasiona un rendimiento volumétrico del motor influyendo directamente en gran medida en las prestaciones del motor al optimizar la masa de aire que ingresa al cilindro produciendo una combustión completa. (Barreiro, y otros, 2012)

2.6.1 Cálculo longitud colector de escape.

$$LC = \frac{13000 * Ge}{rpm * 6} \quad (1)$$

Siendo:

LC = longitud del colector de escape (incluido el tramo dentro de la culata)

Ge = grados de escape del diagrama de distribución (cigüeñal)

rpm = número de revoluciones máximo del motor.

2.6.2 Grados de escape del diagrama de distribución.

$$Ge = aae + 180 \text{ de pms a pmi} + rce \quad (2)$$

Siendo:

aae = adelanto en la apertura de la válvula de escape.

pms = punto muerto superior.

pmi = punto muerto inferior.

rce = retraso en el cierre de la válvula de escape.

2.6.3 Diámetros del colector de escape.

$$D = \sqrt{\frac{Vc * 2}{Lc * \pi}} \quad (3)$$

Siendo:

D = diámetro del conducto.

V_c = volumen unitario del cilindro (cilindrada de un solo cilindro).

L_c = Longitud del conducto.

2.6.4 Diámetro del escape primario.

$$D(Te) = \sqrt{\frac{V_t}{L_c * \pi}} \quad (4)$$

Siendo:

$D(Te)$ = diámetro del tubo de escape primario.

L_c = longitud de colectores.

V_t = volumen total del motor.

2.6.5 Contrapresión del tubo de escape.

$$P = 6.32 * \frac{L * Q^2}{D^5} * \frac{1}{T + 273} \quad (5)$$

Siendo:

P = Contra - presión en la tubería de escape.

L = Longitud útil equivalente de la tubería.

Q = Caudal de gas de escape.

D = Diámetro de la tubería.

T = Temperatura de gas de escape.

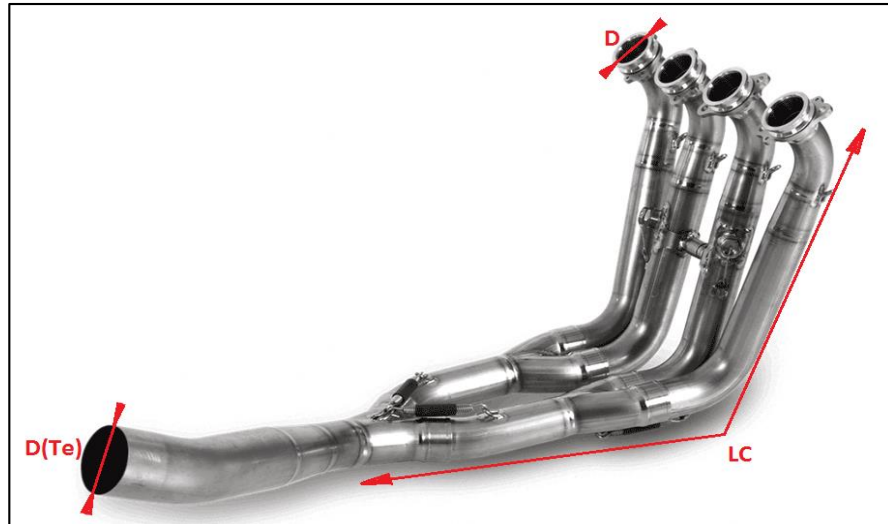


Figura 6-2: Principales dimensiones de un escape.

Fuente: <https://www.ramirezmoto.es/Colector-de-escape-Akrapovic-E-B10R1/22729.html>

2.7 Silenciador

El ruido que se produce al chocar los gases quemados con el aire exterior se reduce merced a la interposición del silenciador, que les resta velocidad y fuerza de manera gradual durante el trayecto hasta el punto de expulsión a la atmosfera. Esto se consigue aumentando el recorrido y el espacio que van ocupando las fases por medio de divisiones o tanques perforados, que permiten su dilatación suavemente para que salgan al aire libre de modo continuo y a poca presión. (Arias Paz, 2006 pág. 132)

Las disposiciones interiores de los conjuntos de escape son muy variadas, pero que ya han dejado de ser elementos secundarios contruidos a capricho, puesto que se han convertido en órganos estudiados por una técnica compleja, con objeto de obtener el máximo silencio con la mínima pérdida de potencia a todas las velocidades y cargas del motor. (Arias Paz, 2006 pág. 132)



Figura 7-2: Silenciador Zotye T600

Fuente: Autores

2.7.1 Tipos de silenciadores.

El funcionamiento de los silenciadores varía dependiendo el tipo al que este pertenezca dentro de los cuales tenemos:

Silenciador de interferencia. Usado hace bastantes años consistía en un laberinto que amortiguaba las ondas sonoras. Se perdía bastante potencia en el motor al representar una fuerte contrapresión en el escape. No cambia la frecuencia de la onda. Baja la presión sonora. (Prieto Fernandez, y otros, 2007)

Silenciador de Absorción. Es un tubo perforado rodeado de un material aislante acústico (lana de vidrio) que amortigua la onda. Para motores tiene el gran inconveniente que se deteriora con los gases de escape. (Prieto Fernandez, y otros, 2007)

Silenciador de Expansión. Es una cámara vacía, donde los gases se expanden e interfieren, entre si las ondas sonoras de tal manera que se consigue una amortiguación. Para determinadas frecuencias va bastante bien, y se suele usar de forma complementaria con el resonador. (Prieto Fernandez, y otros, 2007)

2.8 Ruido

El ruido puede ser considerado como sonido indeseable o desagradable. Desde el punto de vista de la acústica, el sonido y el ruido constituyen el mismo fenómeno de fluctuaciones de presión atmosférica sobre la presión atmosférica media. El sonido es el resultado de variaciones de presión, u oscilaciones en medios elásticos, generado por una superficie en vibración o un flujo turbulento de un fluido.

Junto a las emisiones contaminantes y el consumo, el ruido es considerado uno de los problemas más relevantes a los M.C.I. La emisión del ruido se produce por la contribución de diversas fuentes entre las cuales destacamos el ruido de combustión, el ruido mecánico y el aerodinámico. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

En funcionamiento urbano el ruido del motor prevalece sobre las demás fuentes, mientras que el funcionamiento asociado al cuerpo del vehículo asociado al cuerpo del vehículo es más importante en el funcionamiento extra urbano. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

2.8.1 Fuentes de ruido en motores.

La emisión de ruido en motores de combustión interna alternativos se produce principalmente a través de los siguientes mecanismos físicos:

- Ruido aerodinámico, producto de las inestabilidades producidas por la interacción de un fluido en movimiento con otro fluido inicialmente en reposo. En los motores dicha inestabilidad puede ser provocada bien por las variaciones del caudal del fluido en los extremos de los colectores de admisión y escape, o por el flujo inducido por los ventiladores de refrigeración. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)
- Ruido por vibración de las superficies en la que la inestabilidad del fluido en reposo e producida por la vibración de las superficies de los elementos del motor y auxiliares. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

2.8.2 *Ruido de admisión y escape.*

Una consecuencia no deseada de la existencia de un flujo no estacionario en el interior de los conductos de admisión y escape es la emisión de ruido por los extremos abiertos de los mismos. Así pues, no se trata de sacar provecho de estos fenómenos pulsantes para mejorar la renovación de la carga, sino de intentar paliar sus repercusiones negativas. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

En los extremos abiertos de los colectores se producen fluctuaciones de velocidad a un ritmo mucho más rápido que los tiempos característicos de relajación del aire circundante impidiendo que alcance un estado de equilibrio y dando lugar a la propagación de una onda que produce la sensación subjetiva de percibir un ruido. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

Como en todo problema de generación de ruido hay una fuente que proporciona la energía necesaria, un sistema de transmisión, por el que se propaga dicha energía y un elemento emisor, en el que la energía finalmente se transfiere al campo acústico. En principio puede actuarse sobre cualquiera de ellos con el fin de reducir el ruido. Siendo en la fuente el responsable el proceso de descarga de los cilindros. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

Debido a la complejidad del ruido producido por la interacción del flujo de los gases de escape y el proceso de funcionamiento del motor podemos identificar distintos mecanismos de transmisión de ruido.

2.8.2.1 *Ruido pulsante.* Está originado por el propio proceso de llenado y vaciado de los cilindros, como en el proceso de escape la fluctuación de presión se produce de manera abrupta y con una mayor amplitud relativa a la originada por el proceso de admisión, pueden producirse incluso ondas de choque en el sistema de escape, con el consecuente incremento del ruido de alta frecuencia. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

2.8.2.2 *Ruido turbulento.* Este está producido por los movimientos vorticiales del flujo, tanto internos como externos, y por la turbulencia generada por los mismos. El

ruido turbulento interno se genera por la interacción del flujo con las distintas singularidades presentes en el interior de los sistemas de admisión y escape, tales como válvulas, cambios de sección, silenciadores. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

2.8.2.3 Ruido mecánico. Este ruido proviene de la emisión por vibración de superficies (Shell noise) inducida por la fluctuación del flujo interno, El ruido radiado por las superficies (silenciador, catalizador, conductos, etc.) cobra mayor importancia a medida que el ruido de boca se reduce. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

2.8.3 Soluciones en el sistema de transmisión: Silenciadores.

Dado que las soluciones en la fuente son más complejas ya que se debe tomar medidas acerca del motor como a cualquier otro elemento ligado a las prestaciones del motor (colector, turbina, y sistemas de pos tratamiento de gases), además que estos elementos están destinados a la eficiencia del motor en cuanto a emisiones contaminantes y consumo resulta en pocas posibilidades de modificar la fuente de generación de ruido siendo las principales: el aislamiento mediante elementos elásticos para evitar la transmisión de la vibración y el encapsulamiento del motor. (Unicersitat Politecnica de Valencia, 2011)

Para solucionar el ruido en la transmisión se recurre a métodos de atenuación pasivos que se basan fundamentalmente en dos acciones: el aislamiento mediante elementos elásticos para evitar la transmisión de la vibración y el encapsulamiento del motor.

2.9 Ingeniería inversa

La digitalización y el uso del escáner 3D se ha extendido poco a poco desde la industria, en especial la del automóvil, a otros campos. Desarrollado como un sistema que analiza y toma datos de la forma de un objeto, este tipo de escáner recopila información imprescindible a la hora de construir modelos tridimensionales. Los sistemas de digitalización se pueden clasificar en dos grandes grupos: (USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING, 2016)

- Sistemas o escáneres 3D por contacto (palpado mecánico): son los que examinan la superficie con un elemento denominado palpador que se apoya sobre los objetos a escanear.
- Sistemas o escáneres 3D sin contacto: son escáneres que no requieren contacto con el objeto. Los hay de varios tipos, aunque el que resulta de mayor interés es el escáner por triangulación, dado su uso en la impresión 3D. (USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING, 2016)

Tabla 1-1. Tabla comparativa de las principales tecnologías de digitalización

Tipo de Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
Palpador táctil punto a punto	Muy preciso (1/100 mm) Independiente del color y la textura Óptimo para la digitalización de piezas mecánicas	Muy lento (30 pts /seg) Presión de contacto. Volumen de trabajo limitado Necesidad de corregir el radio del palpador
Fotogrametría	Rango de medida elevado Campos de aplicación	Baja precisión Lento
Sistemas ópticos. Luz estructurada	Muy rápido (hasta 50.000 pts/seg) Distancia de trabajo variable Mide objetos móviles Tamaño de escena grande	Depende del aspecto de la superficie Precio Precisión variable Post-procesado complejo Utilización compleja
Ultrasonidos	Precio Versatilidad Amplias posibilidades de medición (medio gaseoso, líquidos)	Rango de medida muy estrecho (máximo 2m) Muy dependiente de la resonancia acústica del material y de las condiciones ambientales Precisión variable
Láser por puntos	Buena precisión (1/10 mm) Relativamente rápido (de 50 a 300 pts/seg) Distancia de trabajo variable	Dependiente del acabado y aspecto de la superficie Precio Poco adaptado para relieves complejos Precisión variable. Sensible a los ruidos
Láser por planos	Muy rápido (hasta 10.000 pts/seg) Distancia de trabajo variable Buena precisión (1/10 mm)	Depende del acabado y aspecto de la superficie Precio Sensible a los ruidos. Precisión variable Utilización delicada
Telemetría láser	Grandes rangos de medida Buena precisión a gran distancia (hasta 300m) Muy rápido (hasta 200.000 pts/seg)	Depende del aspecto de la superficie Precio muy elevado
Interferometría	Alta precisión	Precio muy elevado y utilización compleja

Fuente: (USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING, 2016)

La información obtenida mediante la utilización de un escáner 3D permite la generación de una nube de puntos con la cual se puede tomar puntos específicos de muestras geométricas para dar paso a la reconstrucción del elemento escaneado con una gran precisión en cuanto a sus dimensiones y forma.



Figura 8-2: Escáner 3D del Centro de Fomento Metalmecánico y Carrocero en Ambato

Fuente: Autores

El post procesado de la geometría se puede realizar con distintos software CAD como SpaceClaim en los cuales el software interpreta la nube de puntos como puntos ordenados en coordenadas tridimensionales en un sistema de referencia en los ejes xyz mediante los cuales se pueden aplicar enfoques como la triangulación Delunay construyendo una red de elementos triangulares en vértices existentes en la nube de puntos generando una superficie reconstruida a través de diferentes algoritmos. (Cajas Naranjo, 2016)

2.10 Proceso de diseño de ingeniería

El diseño en ingeniería es el proceso de concebir ideas en el desarrollo de la solución de un problema tecnológico, para lo cual usa conocimientos, recursos y productos existentes para satisfacer una necesidad o resolver un problema. (Rojas Lazo, y otros, 2006)

A medida que se desarrolla el diseño de un producto o proceso, el equipo de diseño aplica principios de ingeniería, toma en cuenta las restricciones de presupuesto, funcionalidad, legales y sociales para lo cual requiere información de áreas como las necesidades del cliente, materiales, energía, requerimientos de tiempo, habilidades humanas, etc. Las gráficas son importantes en el proceso de diseño, se utiliza para

visualizar soluciones posibles y documentar las ideas, incluyen el dibujo de las piezas, curvaturas, descripciones de color, e instrucciones de fabricación, etc.

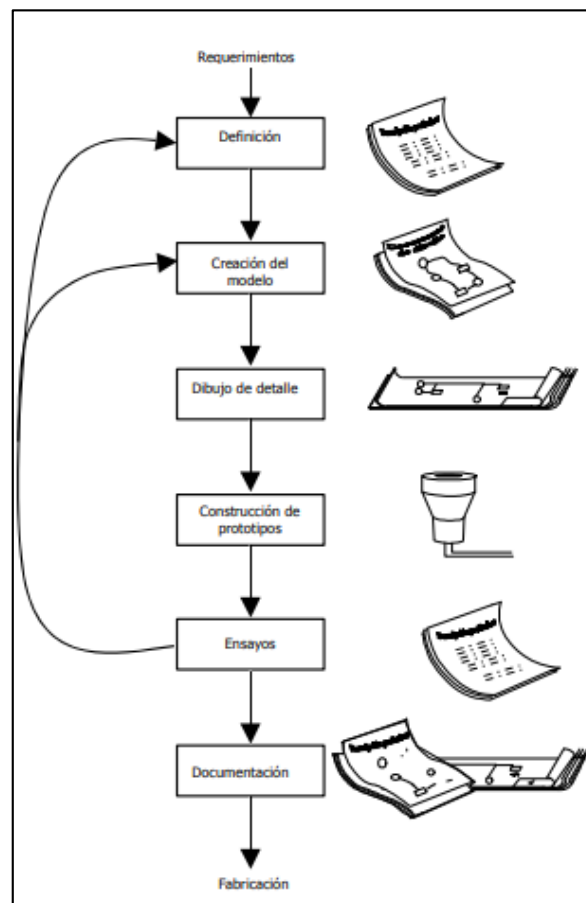


Figura 9-2: Proceso clásico de diseño.

Fuente: <http://lsi.ugr.es/~cad/teoria/Tema1/RESUMENTEMA1.PDF>

El refinamiento del diseño es la etapa en que se comienza a trabajar con los sistemas CAD, está formada por tres áreas que se muestran en la figura. El modelado es el proceso de representación de ideas abstractas, palabras y formas a través del empleo ordenado de texto e imágenes simplificadas con el objeto de generar un prototipo digital y comunicar, documentar, analizar y visualizar el proceso de diseño.

2.11 CAD (Computer-aided Design)

El diseño asistido por ordenador (CAD) considerado una aplicación de software que en ingeniería la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación,

representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, etc. (Rojas Lazo, y otros, 2006)

El diseño asistido por ordenador es utilizado a lo largo de todo el proceso de ingeniería, desde el diseño conceptual del producto y análisis del diseño de ensamblaje del método de fabricación. El CAD permite probar de manera interactiva variantes de diseño con los mínimos prototipos físicos para lograr: (SIEMENS, 2017)

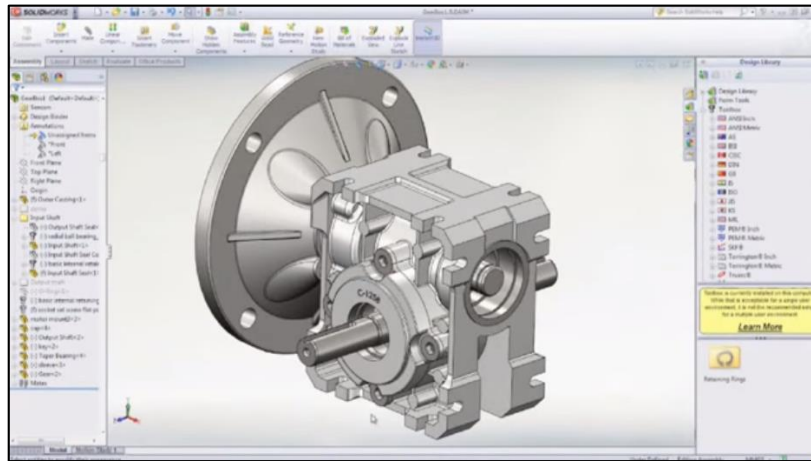


Figura 10-2: Aplicación CAD en diseño mecánico

Fuente: (GoEngineer,2012)

2.12 CAE (Computer Aided Engineering)

La ingeniería asistida por ordenador (CAE) es un método para probar virtualmente un producto o servicio, se pueden utilizar varios enfoques, incluyendo la simulación dinámica multicuerpo, análisis de elementos finitos, o una combinación de ambas. El diseño es modelado con técnicas CAD y entonces son virtualmente probadas para verificar que el diseño funciona bajo las condiciones definidas de operación. Los resultados de la simulación proporcionan información del comportamiento del diseño y ayudan a hacer cambios de diseño y mejoras. (RecurDyn, 2014)

La técnica CAE necesita de una gran potencia de cálculo de los computadores, lo cual implica una memoria RAM considerable, velocidad de proceso y una calidad de exhibición de los resultados; estas características se vienen consiguiendo con los nuevos computadores a precios aceptables para nuestro medio. Esto ha permitido que los profesionales relacionados a estas tecnologías mejoren su productividad, calidad y

oportunidad, de manera que puedan dedicar un mayor tiempo en la mejora de los diseños. (Rojas Lazo, y otros, 2006)

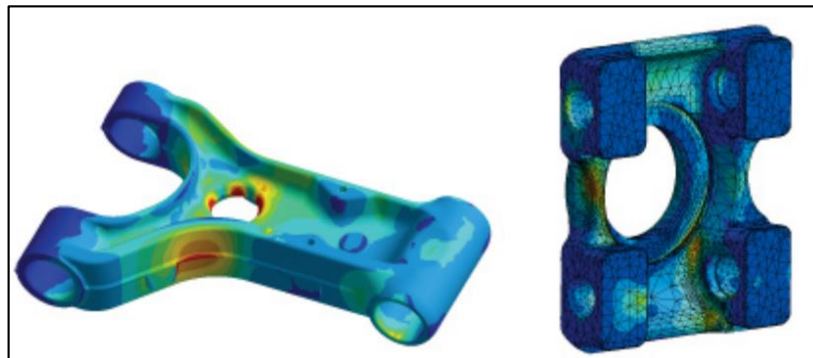


Figura 11-2: Contornos de esfuerzos en la horquilla superior y nudillo de suspensión de camiones de camión de construcción

Fuente: www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/article/aa-v1-i4-taking-shakes-out-of-construction-trucks.pdf

Con un requisito cada vez mayor de producir diseños en ciclos más cortos, la reducción del tiempo de lanzamiento al mercado se ha convertido en la principal presión comercial que impulsa la adopción de la simulación en el diseño. La fabricación y las pruebas de prototipos pueden consumir una gran cantidad de tiempo calendario. Sin embargo, dado que la simulación permite que los diseños se prueben de manera virtual, la menor dependencia de las pruebas físicas y el prototipado y el consecuente ahorro de tiempo significan que puede llevar sus diseños al mercado con mayor rapidez. (RecurDyn, 2014)

2.13 Métodos de Discretización

Puesto que usualmente el problema está definido sobre un dominio continuo, las ecuaciones gobernantes de un problema, con excepción de las condiciones de contorno, son validadas tanto en todo el dominio como en cualquier parte de él. Esto permite idealizar el dominio a través de regiones de tamaño finito, interconectados de diferente forma y tamaño. (Universidad Rafael Urdaneta, 2011)

Una clasificación final de la mecánica computacional sólida y estructural (CSSM) para el análisis estático está basada en el método de discretización por el cual la serie continua el modelo matemático es discretizado en el espacio, es decir, convertido a un modelo distinto del número finito de grados de libertad

2.13.1 Método de elementos finitos FEM

El método de elementos finitos (FEM) es un método computacional que subdivide un modelo CAD en elementos muy pequeños de formas geométricas simples. El conjunto de estos elementos de formas simples conforman la también llamada malla de elementos finitos. (Sjodin, 2016)

Para la resolución de problemas mediante este método se parte de sistemas de ecuaciones matemáticamente representados por ecuaciones parciales que describen la física a analizar y se las formula a cada elemento. Cuando las contribuciones de todos los elementos se ensamblan se tiene un gran sistema de ecuaciones en una matriz dispersa. (Sjodin, 2016)

Generalmente la utilización del FEM es que al ser un método muy general es especialmente útil para la resolución de análisis multifísicos, además que se pueden combinar diferentes tipos de funciones que se aproximan a la solución de cada elemento también conocido como formulaciones mixtas.

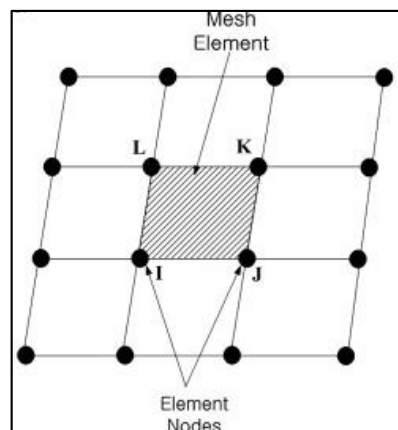


Figura 12-2: Representación de una malla estructurada para el método de discretización de elementos finitos.

Fuente: (Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods, 2014)

2.13.2 Método de volúmenes finitos FEV

El método de volúmenes finitos (FEV) es similar al método de elementos finitos donde en el modelo CAD se divide primero en elementos muy pequeños de tamaño finito y de

formas geométricamente simples. Aparte de esto, el método de volúmenes finitos es muy diferente del método de elementos finitos, empezando por el concepto de elementos, que en cambio se hace referencia como células (pequeños volúmenes). (Sjodin, 2016)

El método de volúmenes finitos se basa en el hecho de que muchas de las leyes físicas son las leyes de conservación, lo que entra en una célula en un lado tiene que salir por la misma célula en otro lado. Se termina con una formulación que consiste en ecuaciones de conservación de flujo definidos en un sentido promediado sobre las células. El método de volúmenes finitos es una elección natural para los problemas de CFD. (Sjodin, 2016)

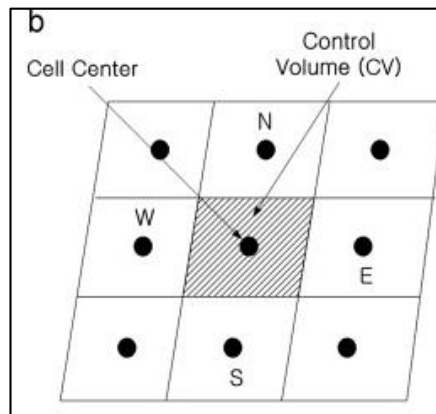


Figura 13-2: Representación de una malla estructurada para el método de discretización de volúmenes finitos.

Fuente: (Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods, 2014)

En comparación de los métodos de elementos finitos y volúmenes finitos, con las mismas ecuaciones gobernantes y las condiciones de frontera similares en problemas de CFD muestran resultados similares con distintos tipos de mallas. El tiempo de cálculo para el mismo número de elementos de malla es aproximadamente 5 veces más grande para el método de elementos finitos en comparación al método de volúmenes finitos por lo cual en los primeros se necesitarían considerar el tipo de malla, calidad y el número de elementos de malla a diferencia del método de volúmenes finitos. (Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods, 2014)

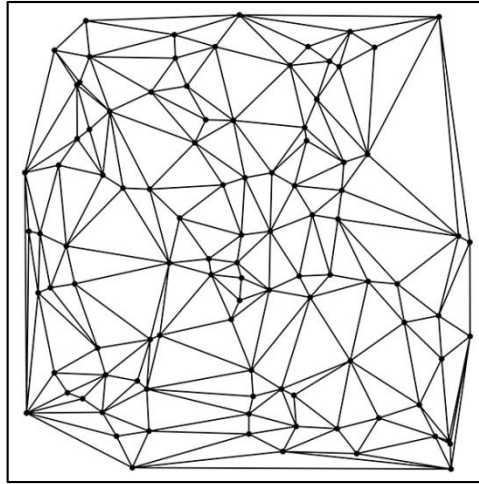


Figura 14-2: Triangulación Delaunay usada para mallar espacios discretizados para solucionadores FEM y FEV.

Fuente: (Sjodin, 2016)

Los beneficios tanto con el método de elementos finitos y el método de volúmenes finitos son que las geometrías CAD curvas e irregulares se manejan de una manera natural. Tecnología eficiente para CFD con el método de elementos finitos se ha convertido cada vez más popular en los últimos 10 a 15 años. Las técnicas para CFD con las diferencias finitas y el método de volúmenes finitos se han conocido y usado mucho más tiempo.

2.14 CFD (Computational Fluid Dynamics)

La dinámica computacional de fluidos (CFD) es una de las ramas de la mecánica de fluidos que predice el flujo de fluido, transferencia de calor, transferencia de masa, etc. Las ecuaciones que gobiernan estos procesos utilizando un proceso numérico son denominadas la ecuación de Navier-Stokes basada en la CFD actual. Durante los últimos 30 años, el mercado para software comercial CFD ha crecido rápidamente, y el software comercial CFD es usado en casi todos los campos de ingeniería. (Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods, 2014)

La dinámica computacional de fluidos se basa principalmente en 3 aproximaciones numéricas: el método de diferencias finitas, el método de elementos finitos y el método de volúmenes finitos. Dado que la diferencia finita es el método más antiguo basado en las aproximaciones del polinomio de Lagrange, series de Fourier y Taylor. El FEM y

FVM son mayormente utilizados actualmente debido a que son manejables para problemas de geometrías complejas. (Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods, 2014)

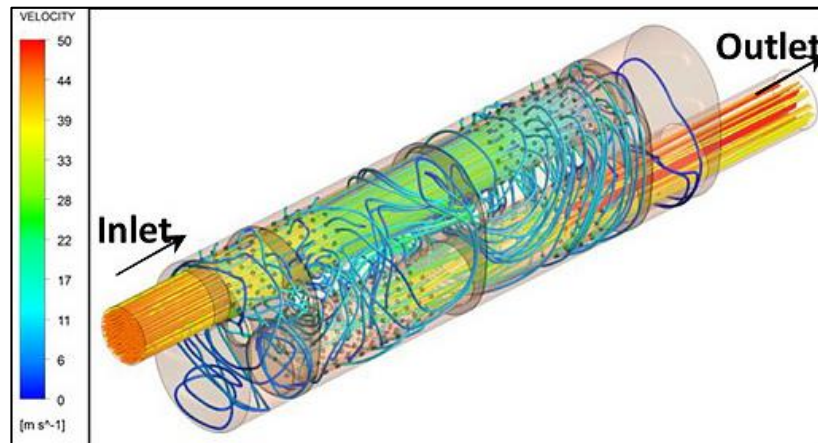


Figura 15-2: Flujo de gases de escape a través de un silenciador.

Fuente: <http://articles.sae.org/13606/>

2.15 ANSYS

ANSYS es una empresa fundada en 1970 que se dedica al desarrollo de software de simulación de ingeniería, así como su comercialización y posterior soporte de dicho software que posee un amplio campo de aplicación para predecir el comportamiento de distintos productos desarrollados en distintas áreas de ingeniería componiéndose de distintos programas integrados que pueden interactuar unos con otros a través de un entorno único llamado ANSYS Workbench algunos de estos programas son:

- ANSYS CFX Dinámica computacional de fluidos
- ANSYS FLUENT Dinámica computacional de fluidos
- ANSYS AIM Simulador multifísica
- ANSYS AUTODYN Software para análisis de cargas extremas
- ANSYS MECHANICAL Análisis estructural
- ANSYS MESHING Generador de malla
- SPACECLAIM Software CAD
- DESIGN MODELER Software CAD (Ponce Segovia, 2017)

2.15.1 ANSYS SpaceClaim

SpaceClaim es uno de los software CAD que posee ANSYS que permite el modelado en 3D de manera ágil que nos permite crear, editar y reparar geometrías tanto en sólidos como en superficies mediante comandos de edición directa permitiéndonos manejar archivos de distintos orígenes. (SpaceClaim Corporation, 2015)

Debido a las características de funcionamiento de los software ANSYS FLUENT y ANSYS CFX los cuales requieren que el fluido de trabajo esté representado mediante un volumen interno uno de los comandos de SpaceClaim nos permite generar el volumen de manera sencilla, así como manipular la geometría rápidamente y detectar errores de geometría de manera rápida permitiéndonos a la vez repararlos.

Algunas de las funciones de SpaceClaim son:

- Modelado de conceptos.
- Diseño impulsado por simulación específica.
- Fabricación.
- Impresión 3D, CAM, chapas y fabricación de moldes.
- Pre-proceso del CAE especialmente en CFD, análisis térmico y estructural.
- Ingeniería inversa tanto en 2D como en 3D. (SpaceClaim Corporation, 2013)

El pre proceso CAE con SpaceClaim nos puede llegar a ahorrarnos desde semanas y días a horas o minutos en las simulaciones simplificando los modelos, optimizando y parametrizando cualquier archivo CAD para reducir la complejidad de la malla y reducir el tiempo de solución. (ANSYS, 2017)

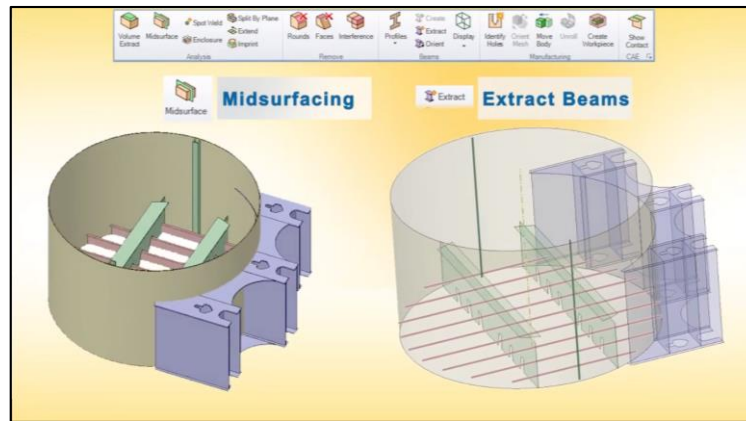


Figura 16-2: Pre-proceso CAE estructural.

Fuente: <http://storage.ansys.com/video/spaceclaim/spaceclaim-for-structural-analysis.mp4>

2.15.2 ANSYS CFX

Ansyes CFX y Ansyes Fluent, uno de los famosos CFD comerciales paquetes de software, se basa en un enfoque de método de volumen finito. Estos códigos difieren principalmente en la forma en que integran el flujo de fluido ecuaciones y en sus estrategias de solución de ecuaciones. Ansyes CFX Solver usa volúmenes finitos de celda-vértice para discretizar el dominio. En esquemas basados en vértices, las variables de flujo se almacenan en los vértices de los elementos de malla. Por el contrario, el solucionador Ansyes Fluent utiliza volúmenes finitos centrados en la celda. En los esquemas centrados en células, el las variables de flujo se almacenan en los centros de los elementos de malla.

Ansyes CFX se centra en un enfoque para resolver las ecuaciones gobernantes de movimiento mientras que Ansyes Fluent ofrece varios enfoques de solución (basados en la densidad así como métodos basados en presión segregados y acoplados). Estas los programas son los paquetes comerciales más populares disponibles para la mayoría de los campos de ingeniería.

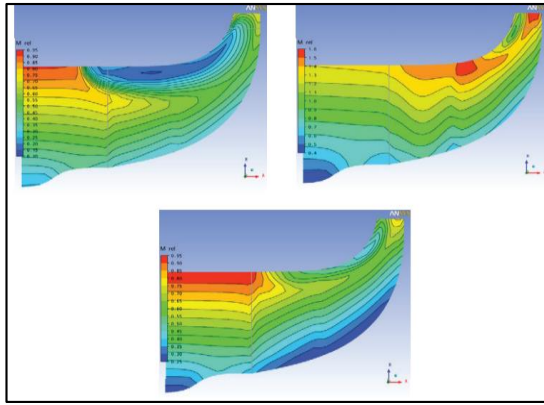


Figura 17-2: Deflexión del filo de la primera aleta de un turbo compresor.

Fuente: <https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/article/ja-turbo-compressor-optimization.pdf>

2.15.3 ANSYS ACT

ANSYS ACT es una extensión acústica para ANSYS con la cual se crean aplicaciones para automatizar sus flujos de trabajo rutinarios, personalizar sus procesos especializados, desarrollar aplicaciones específicas de su empresa e integrar herramientas y datos de terceros en la línea de productos de ANSYS.

Las sencillas herramientas de creación de aplicaciones de ACT y las API intuitivas capturan las mejores prácticas de los analistas de ingeniería expertos para reducir los costes de formación e implementación y facilitan a un mayor número de ingenieros y diseñadores el uso eficaz de las herramientas de simulación. ACT contribuye al desarrollo de un flujo de trabajo de simulación unificado que integra tecnologías ANSYS con otros datos y herramientas de ingeniería para maximizar la productividad de los equipos de ingeniería. La optimización de los flujos de trabajo de simulación se traduce en decisiones más rápidas y más acertadas durante todo el ciclo de vida del producto, desde el concepto hasta su uso.

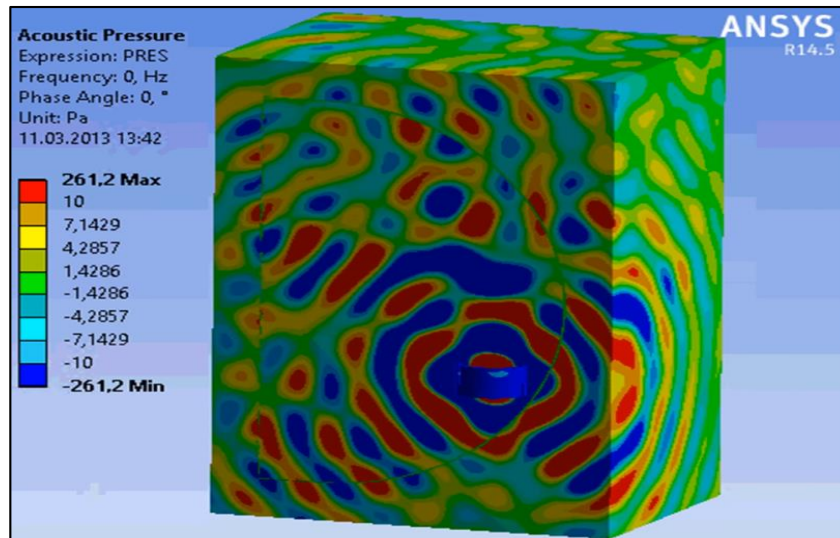


Figura 18-2: ANSYS ACT piezo + acoustics

Fuente: (Александр Соклаков, 2014)

2.15.3.1 Acoustics ACTx. La extensión acústica ACT es una personalización hecha con ANSYS ACT para integrar las capacidades acústicas en el ANSYS mechanical. La extensión consiste en un archivo XML (configura el contenido de la interfaz de usuario) y una secuencia de comandos Python (Implementos de la funcionalidad de extensión). (ANSYS, 2016)

Expone características acústicas en ANSYS Mechanical sin la necesidad de APDL (ANSYS Parametric Desing Language) como son:

- Definir propiedades acústicas.
- Aplicar condiciones de límites acústicos y cargas.
- Resultados acústicos posteriores al proceso. (ANSYS, 2016)

2.16 Etapas del diseño asistido por ordenador

Dentro de la etapa de la ingeniería asistida por ordenador más específicamente la aplicación de la simulación para el modelo CAD tenemos el cambio del proceso de diseño clásico a un proceso en el cual se tiene un mayor número de retroalimentaciones e inclusión de una etapa de simulación dentro de la cual tenemos una división de este proceso en tres partes bien diferenciadas.

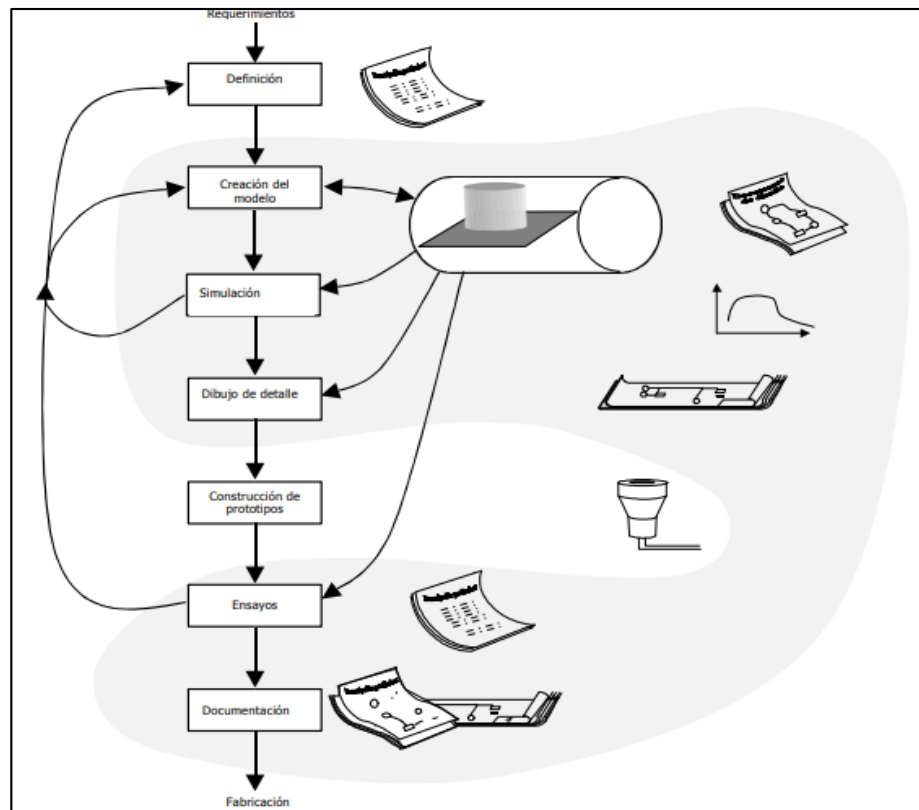


Figura 19-2: Proceso de diseño usando una herramienta CAD

Fuente: <http://lsi.ugr.es/~cad/teoria/Tema1/RESUMENTEMA1.PDF>

El pre-proceso de la simulación se caracteriza por ser la etapa en la que se empieza a preparar el problema con la obtención del dominio geométrico para de esta manera definir la geometría (longitud, área, etc.), la generación de la malla del modelo CAD definiendo el tipo de elemento utilizado en la discretización y las conectividades de los elementos, y por último definir las condiciones físicas de contorno y las respectivas cargas aplicadas al sistema.

La siguiente etapa de la simulación viene dada por el proceso en el cual se la lugar el cálculo de los sistemas de ecuaciones y matices de cada elemento asociados al problema reduciéndose mediante la aplicación de las condiciones de contorno, la obtención de los valores nodales con las variables derivadas como lo son fuerzas, tensiones, transferencia de calor, movimiento de fluidos, deformaciones, etc.

La última etapa es el post-proceso donde se interpretan los resultados de la simulación dependiendo del software podemos tener representaciones gráficas de los resultados con

curvas de resultados, gráficas de las magnitudes de las variables representadas en colores.

En esta etapa se depende principalmente de la interpretación de resultados basada en el juicio del analista desde una posición crítica pudiendo determinar un criterio para analizar y evaluar los resultados de la simulación.

Para el caso específico de simulación CFD en silenciadores tenemos ciertas variables que deben ser tomadas en consideración para su utilización de una aplicación de comparación entre 2 silenciadores con características geométricas diferentes tales como las gráficas de presión y velocidad mediante la cual se determinaran la calidad del ruido. Los gases de escape en pulsos terminaran en un flujo discontinuo del gas y creara un ruido diferente. Mientras que los gases escapando a alta velocidad crean un sonido de silbido. (SAE, 2014)

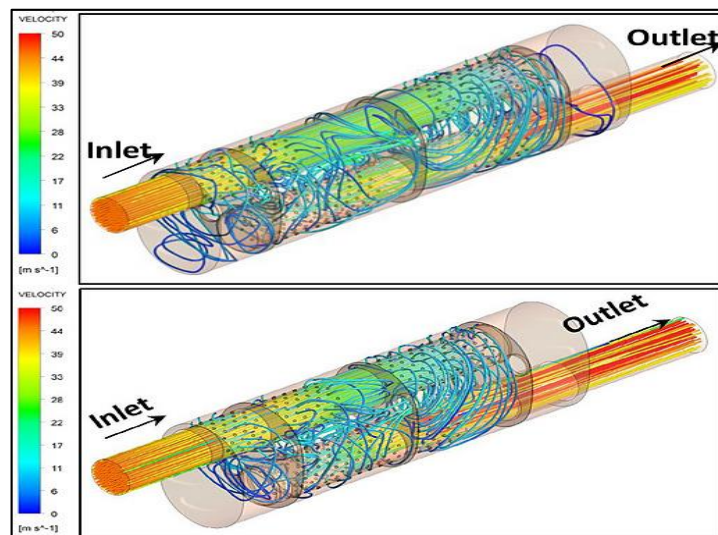


Figura 20-2: Presión total en comparación del flujo de aire del silenciador original (arriba) y reducido (abajo)

Fuente: <http://articles.sae.org/13606/>

La velocidad del flujo y la presión se mantienen iguales para el silenciador reducido, lo cual muestra que la calidad del sonido no ha sido deteriorada con el diseño existente. La presión es el principal parámetro para evaluación del nivel del ruido en un sistema. (SAE, 2014)

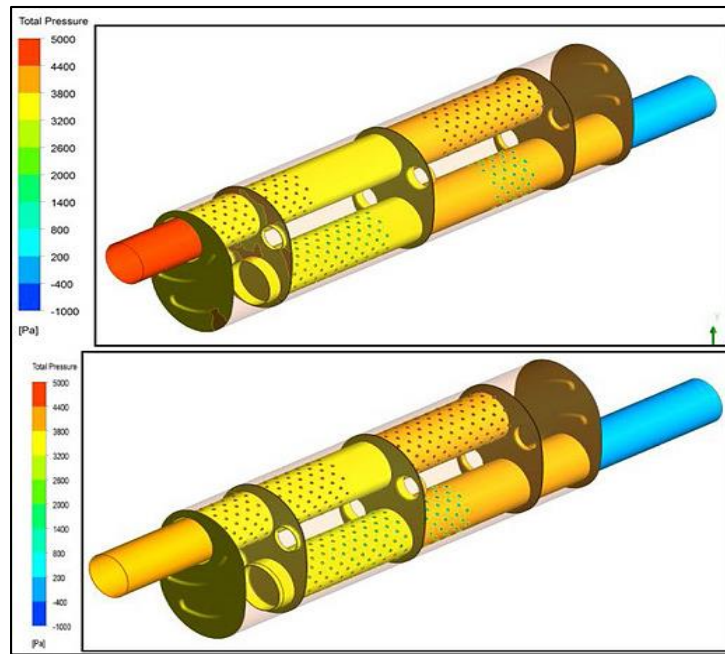


Figura 21-2: Presión total en comparación de la presión de contorno del silenciador original (arriba) y reducido (abajo).

Fuente: <http://articles.sae.org/13606/>

CAPÍTULO III

3. SIMULACIÓN CFD Y ACÚSTICA PARA EL SILENCIADOR DEL VEHÍCULO ZOTYE T600 1.5T Y 2.0T.

3.1 Pre-proceso de Simulación del modelo CFD.

Como punto de partida, se inició con la obtención de los valores de las cargas aplicadas al sistema para su simulación CFD y acústica, para lo cual se recurrirá al uso de distintos instrumentos de medición adecuados para los parámetros de entrada al sistema en el pre-silenciador, los cuales son la temperatura de los gases de escape, la velocidad de flujo de los gases y la velocidad de giro del motor para poder obtener distintas mediciones en un determinado rango de rpm.

Las mediciones en distintos regímenes de funcionamiento se realizaran para poder obtener una curva que sirva de referencia, esto a fin de caracterizar el parámetro de la velocidad mediante una curva que describa su comportamiento en función de las rpm para obtener la velocidad en distintos estados de carga del motor y poder utilizar los que sean más convenientes al momento de realizar las simulaciones.



Figura 1-3: Zotye T600

Fuente: <http://www.ambacar.ec/modelo/zotye-t600>

3.1.1 Obtención de los valores.

Para la obtención de los valores de velocidad se utilizó de un anemómetro digital de marca Peakmeter modelo MS6252A el cual fue colocado en el sistema de escape en 3 distintos puntos debido a que la velocidad de obtención de datos es instantánea obteniendo valores a lo largo del sistema, teniendo valores para compararlos con la simulación CFD, en 2 vehículos Zotye T600 uno con una cilindrada total de 1498cc y el otro con 1997cc. En cambio para la obtención de los valores de temperatura se utilizó un multímetro digital Vici VC99 con función de medición de temperatura mediante una sonda bimetálica.



Figura 2-3: Anemómetro digital Peakmeter modelo MS6252A

Fuente: https://www.gearbest.com/laser-rangefinder-electronic-distance-meter/pp_367986.html



Figura 3-3: Multímetro digital Vici VC99

Fuente: <http://www.vicimeter.com/en/product/VC99>

3.1.2 *Proceso de medición.*

Se tomaron 5 mediciones de velocidad para cada velocidad de giro del motor en 3 puntos del sistema de escape de las cuales para realizar la simulación se utilizara la media de estas mediciones, en cuanto a las temperaturas se realizó solamente 1 medición para cada rango de velocidades debido que la medición de toma más tiempo para poder obtener el dato y el tiempo que demora la sonda del multímetro en tener una medición fija de temperatura.

Al incluir al análisis CFD una transferencia de calor entre el fluido y el silenciador se producirá un gran aumento de gasto computacional y tiempo de resolución, por este motivo se decidió obtener solo la temperatura medida entre el pre-silenciador y el silenciador debido a que la simulación CFD con transferencia de calor por convección se realizara con mayor énfasis en la parte del silenciador dado que sobre este se generaran las alternativas de diseño.



Figura 4-3: Utilización del anemómetro para medir los valores de velocidad de los gases de escape.

Fuente: Autores



Figura 5-3: Utilización del anemómetro para medir los valores de velocidad de los gases de escape.

Fuente: Autores

Para asegurar que la medición se realice en un número fijo de rpm se utilizó también un escáner OBD II bluetooth elm327 y junto a la App Piston para Android con la función de datos en vivo para de esta manera asegurarnos que las rpm correspondan con la velocidad de los gases de escape medidas con lo cual se logró tener mediciones más confiables que sean de las rpm requeridas.

Live Data				Live Data				Live Data			
Battery Voltage	13,6	V	12:56:12.316	Battery Voltage	13,7	V	12:58:00.215	Battery Voltage	13,7	V	13:00:38.446
Calculated Engine Load	20	%	12:56:12.543	Calculated Engine Load	10	%	12:58:00.452	Calculated Engine Load	9	%	13:00:38.685
Engine Coolant Temperature	87	°C	12:56:13.068	Engine Coolant Temperature	88	°C	12:58:00.932	Engine Coolant Temperature	93	°C	13:00:39.162
Short Term Fuel Trim (Bank 1)	1,6	%	12:56:10.798	Short Term Fuel Trim (Bank 1)	-3,9	%	12:58:01.172	Short Term Fuel Trim (Bank 1)	-4,7	%	13:00:39.404
Intake Manifold Absolute Pressure	N/A	kPa	00:00:00.000	Intake Manifold Absolute Pressure	N/A	kPa	00:00:00.000	Intake Manifold Absolute Pressure	N/A	kPa	00:00:00.000
RPM	801,8	r/min	12:56:11.032	RPM	1506,8	r/min	12:57:58.955	RPM	2996,2	r/min	13:00:39.645
Ignition Timing Advance	-2,5	°	12:56:11.274	Ignition Timing Advance	32,0	°	12:57:59.198	Ignition Timing Advance	37,5	°	13:00:39.886
Intake Air Temperature	48	°C	12:56:11.516	Intake Air Temperature	48	°C	12:57:59.441	Intake Air Temperature	48	°C	13:00:40.124
MAF Air Flow Rate	2,1	g/s	12:56:12.826	MAF Air Flow Rate	2,9	g/s	12:58:00.694	MAF Air Flow Rate	6,1	g/s	13:00:38.933
Throttle Position	12,5	%	12:56:11.758	Throttle Position	13,3	%	12:57:59.683	Throttle Position	16,1	%	13:00:40.364
O ₂ Sensor 1	0,660	V		O ₂ Sensor 1	0,715	V		O ₂ Sensor 1	0,160	V	

Figura 6-3: App Piston para Android con los datos en tiempo real del vehículo Zotye T600.

Fuente: Autores



Figura 7-3: Utilización del multímetro para medir los valores de temperatura de los gases de escape.

Fuente: Autores

3.1.3 Ordenamiento de los valores obtenidos.

De las mediciones obtenidas en la tabla se generó una gráfica de línea ajustada de los datos de velocidad de flujo de los gases de escape a la salida del catalizador dado que este valor es el necesario para realizar una simulación completa del sistema de escape después del catalizador, otro aspecto que se consideró es el poder utilizar estas gráficas para poder obtener la velocidad de los gases de escape en cualquier régimen de giro del motor para posibles simulaciones futuras.

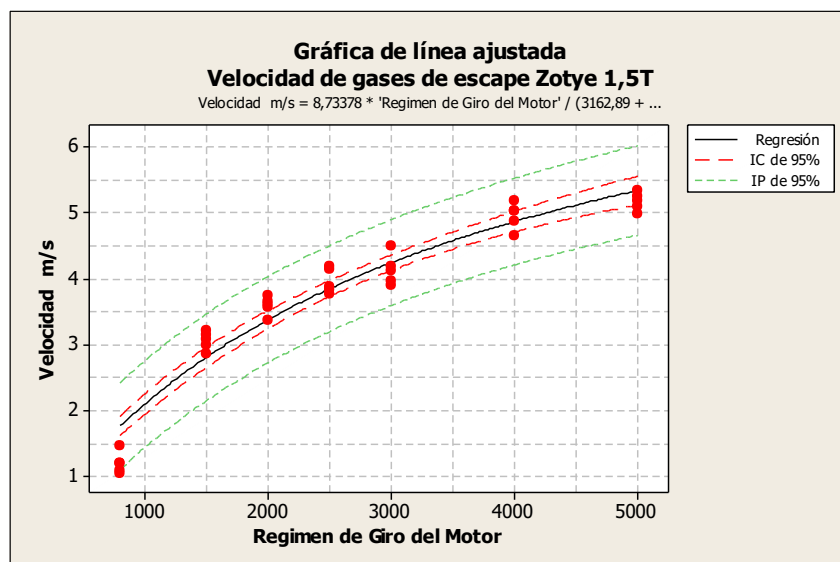


Figura 8-3 Grafica de regresión no lineal Zotye 1.5T

Fuente: Autores

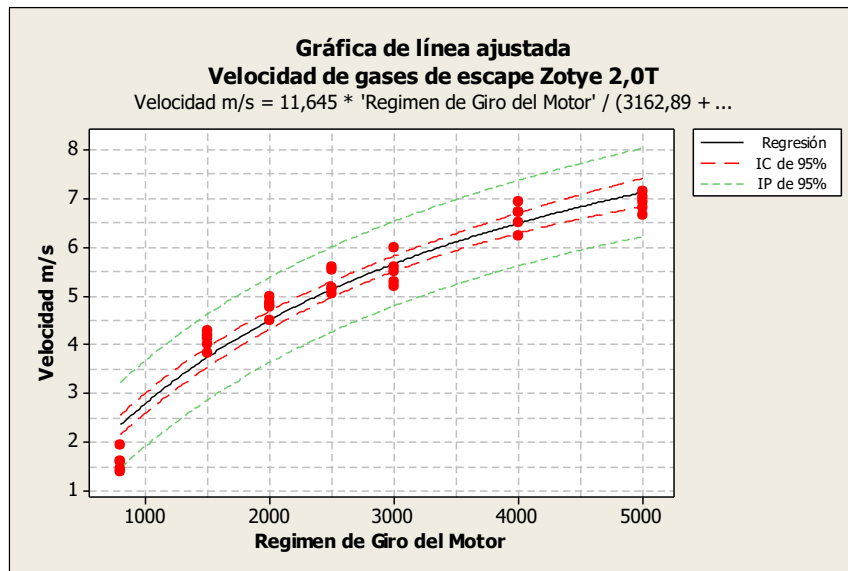


Figura 9-3: Grafica de regresión no lineal Zotye 2.0T

Fuente: Autores

Tabla 1-3. Mediciones de velocidades y temperaturas en las 2 versiones del vehículo Zotye T600.

	Versión del vehículo							
	1498cc T				1997cc T			
RPM	Ve	Vm	Vsalida	T	Ve	Vm	Vsalida	T
800	1,46	1,96	1,18	170	1,95	2,61	1,57	198
	1,08	1,58	0,95		1,44	2,11	1,26	
	1,19	1,69	1,01		1,59	2,25	1,35	
	1,05	1,55	0,93		1,40	2,07	1,24	
	1,20	1,7	1,02		1,60	2,27	1,36	
1500	3,00	3,5	2,10	204	4,00	4,67	2,80	238
	3,15	3,65	2,19		4,20	4,87	2,92	
	2,87	3,37	2,02		3,83	4,49	2,70	
	3,09	3,59	2,15		4,12	4,79	2,87	
	3,21	3,71	2,23		4,28	4,95	2,97	
2000	3,57	4,07	2,44	245	4,76	5,43	3,26	286
	3,66	4,16	2,50		4,88	5,55	3,33	
	3,37	3,87	2,32		4,49	5,16	3,10	
	3,75	4,25	2,55		5,00	5,67	3,40	
	3,61	4,11	2,47		4,81	5,48	3,29	
2500	3,88	4,38	2,63	294	5,17	5,84	3,50	343
	4,20	4,7	2,82		5,60	6,27	3,76	
	4,15	4,65	2,79		5,53	6,20	3,72	
	3,85	4,35	2,61		5,13	5,80	3,48	
	3,78	4,28	2,57		5,04	5,71	3,42	
3000	3,91	4,41	2,65	353	5,21	5,88	3,53	411
	3,98	4,48	2,69		5,31	5,97	3,58	
	4,13	4,63	2,78		5,51	6,17	3,70	
	4,20	4,7	2,82		5,60	6,27	3,76	
	4,50	5	3,00		6,00	6,67	4,00	
4000	4,67	5,17	3,10	423	6,23	6,89	4,14	494
	5,20	5,7	3,42		6,93	7,60	4,56	
	5,04	5,54	3,32		6,72	7,39	4,43	
	5,05	5,55	3,33		6,73	7,40	4,44	
	4,89	5,39	3,23		6,52	7,19	4,31	
5000	5,20	5,7	3,42	508	6,93	7,60	4,56	592
	5,00	5,5	3,30		6,67	7,33	4,40	
	5,27	5,77	3,46		7,03	7,69	4,62	
	5,11	5,61	3,37		6,81	7,48	4,49	
	5,36	5,86	3,52		7,15	7,81	4,69	
Observaciones: Las mediciones se realizaron sobre 2 vehículos en el taller Gas Motor en la ciudad de Riobamba para lo cual se montaron los vehículos sobre un elevador para acceder con facilidad al sistema de escape y realizar las mediciones desmontando los componentes para medir en cada punto.								
Ve=Velocidad a la salida del catalizador. Vm= Velocidad entre el presilenciador y el silenciador. Vsalida= Velocidad media entre las 2 salidas del silenciador. T=temperatura medida entre el presilenciador y el silenciador.								

Fuente: Autores

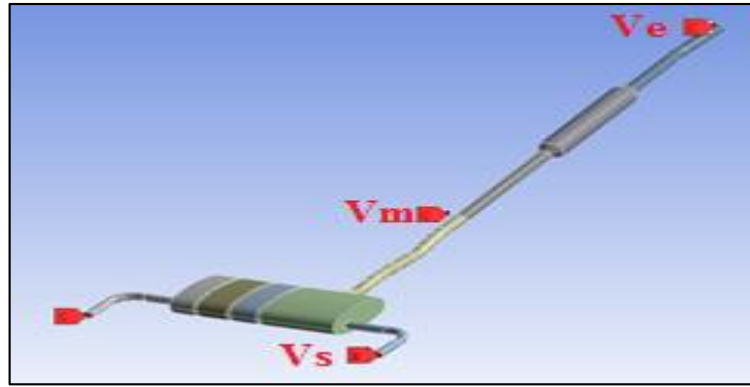


Figura 10-3: Ubicación de las velocidades en el sistema de escape.

Fuente: Autores

3.1.4 Digitalización del silenciador del Zotye T600

3.1.4.1 *Modelación geometría externa del tubo de escape y el silenciador.* Para poder generar la geometría en software CAD para su posterior simulación CAE se requirió contar con un ejemplar del silenciador para poder utilizar el método de ingeniería inversa con la utilización de un escáner 3D para poder digitalizar la parte exterior del silenciador y las distintas curvaturas del tubo de escape para poder reproducir con precisión las curvaturas que estas poseen sin errores.

Para esto se llevó las partes al Centro de Fomento Metalmecánico y Carrocero ubicado en la ciudad de Ambato proceso que duro 3.5h se realizó con un escáner de laser por puntos el cual genero un archivo en formato STL con la nube de puntos generados en forma de superficie obtenida por triangulación Delunay y reparándola en SpaceClaim.

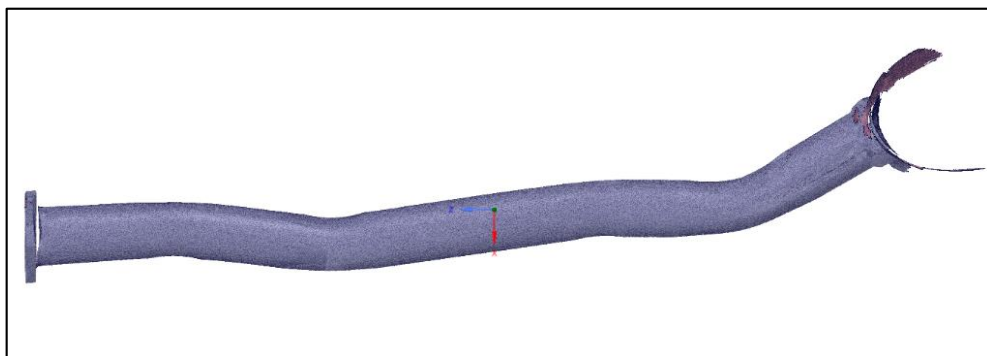


Figura 11-3: Tubo de ingreso al silenciador en nube de puntos del formato STL.

Fuente: Autores

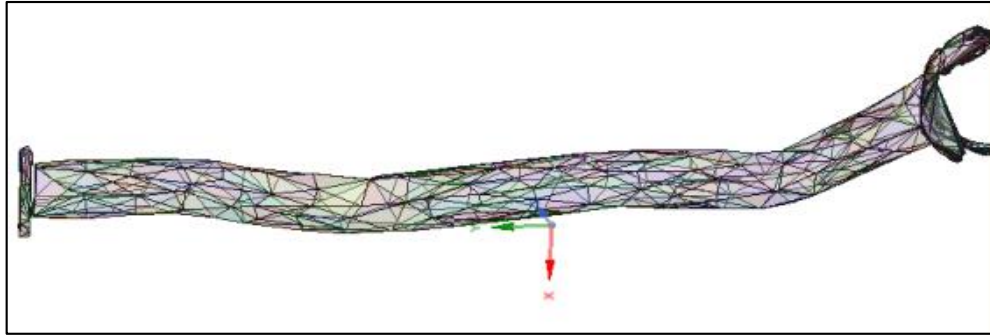


Figura 12-3: Tubo de ingreso al silenciador en superficies generadas por la triangulación Delunay.

Fuente: Autores

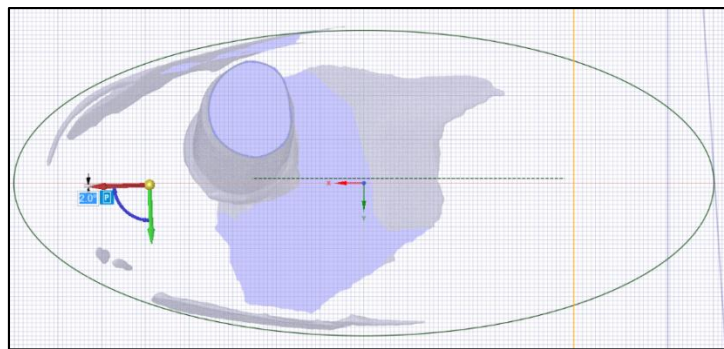


Figura 13-3: Vista lateral del silenciador para la obtención de la geometría.

Fuente: Autores

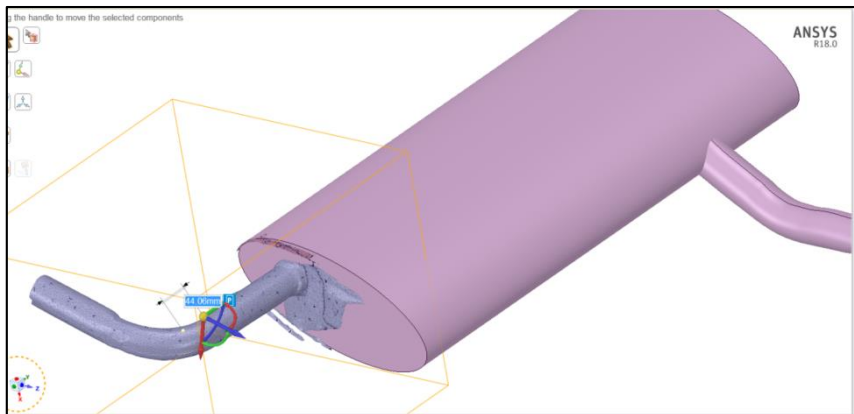


Figura 14-3: Generación de los tubos de salida del silenciador acoplados al resto del modelo.

Fuente: Autores

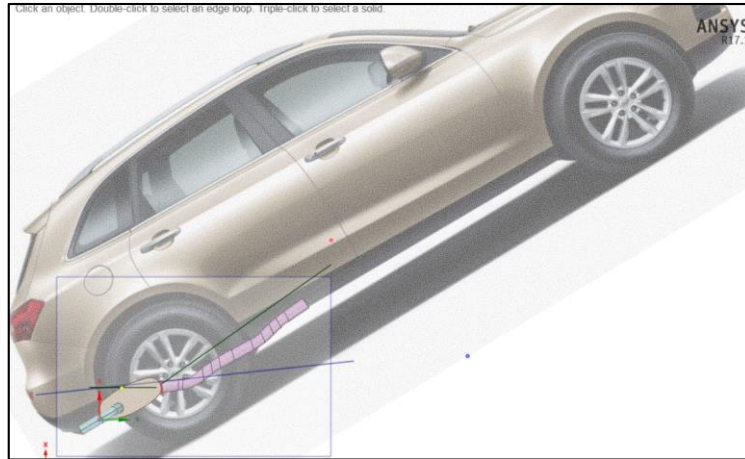


Figura 15-3: Comparación de tamaños del silenciador generado en CAD y el vehículo Zotye T600.

Fuente: Autores

3.1.4.2 *Modelación geometría interna del pre-silenciador y el silenciador.* Para la geometría interna del silenciador se accedió a INDAPARTS C.L. (Industria Ecuatoriana De Partes Y Accesorios) ubicada en la ciudad de Quito provincia de Pichincha, en la cual se ensambla el pre-silenciador y silenciador del sistema de escape, los mismos que están fabricados de acero inoxidable AISI 409 en distintos espesores. (Masaquiza Moyulema, y otros, 2017)

Debido a que la empresa no dispone de los planos de los elementos fue necesario realizar un levantamiento de planos de los componentes del silenciador tanto individualmente como en conjunto, además se tuvo la oportunidad de observar de cerca el proceso de fabricación el cual da una versión más clara de la estructura interna del silenciador así como las decisiones de diseño que tomaron parte en la creación del actual silenciador del Zotye T600.



Figura 16-3: Estructura interna de silenciador junto a la carcasa

Fuente: Autores



Figura 17-3: Separadores internos y tubos perforados del silenciador.

Fuente: Autores



Figura 18-3: Pre-silenciador del vehículo Zotye T600.

Fuente: Autores

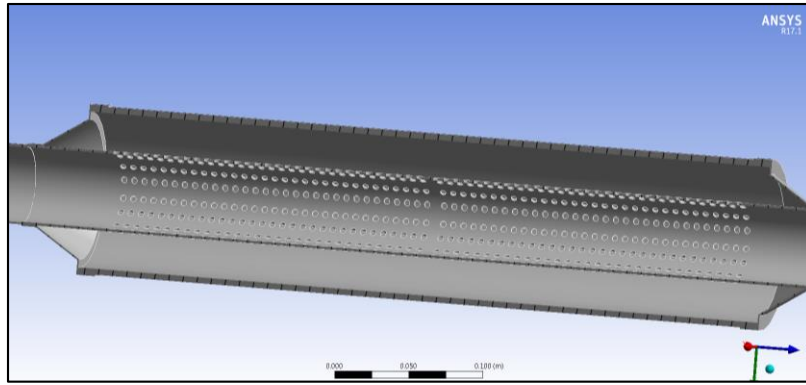


Figura 19-3: Geometría 3D en corte del pre-silenciador.

Fuente: Autores

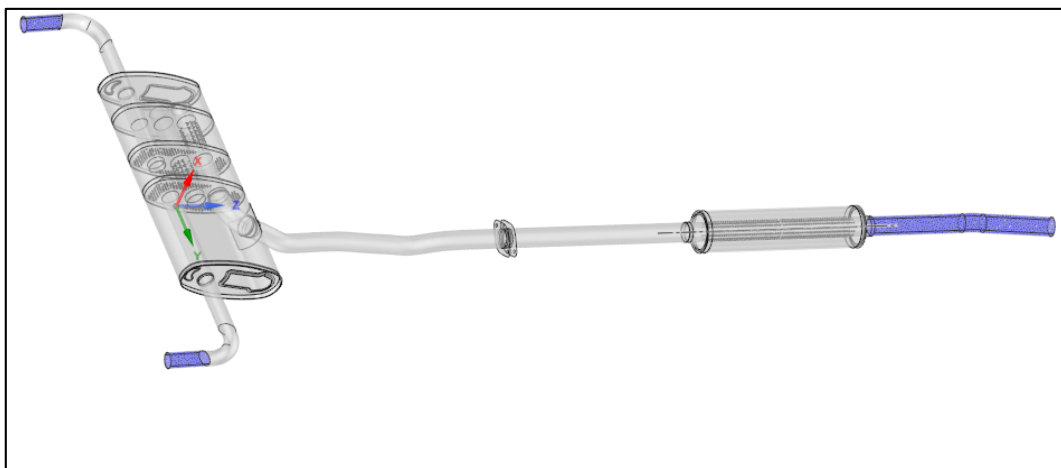


Figura 20-3: Geometría 3D interna del silenciador acoplado a los tubos de entrada y salida.

Fuente: Autores

3.1.4.3 Obtención del volumen interno del sistema de escape. Debido a las características de funcionamiento de ANSYS CFX no se puede trabajar directamente con la geometría del problema, este software, así como ANSYS FLUENT para poder solucionar un problema de CFD deben trabajar con el dominio del fluido el cual corresponde al volumen interno del problema, dada esta condición del trabajo mediante un comando de SpaceClaim podemos generar el volumen del fluido de manera rápida, y al finalizar se utiliza el mismo para encontrar errores de geometría como interferencias y separaciones entre contactos.

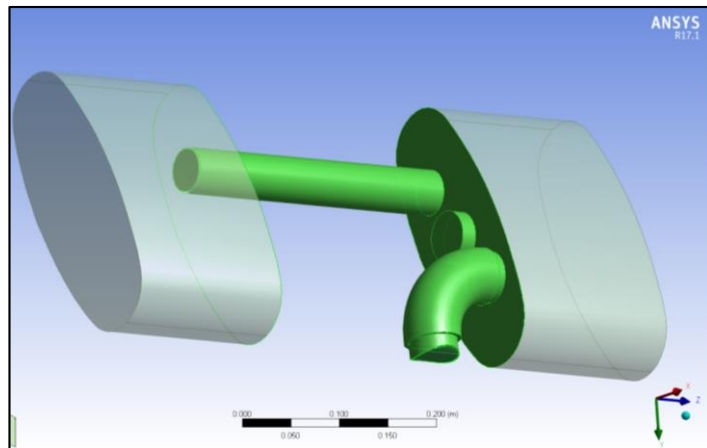


Figura 21-3: Volumen interno de las cámaras del silenciador.

Fuente: Autores

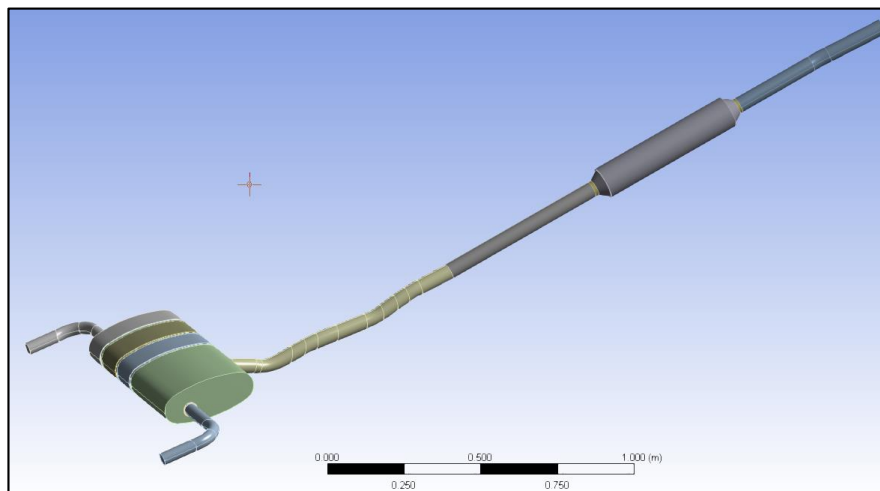


Figura 22-3: Volumen interno del silenciador generado en SpaceClaim.

Fuente: Autores

3.1.5 *Generación de la malla.*

Dado que se va a realizar una simulación con transferencia de calor se debe generar la malla tanto para el sólido del sistema de escape así como del volumen del fluido.

3.1.5.1 *Calidad ortogonal.* Con ANSYS Meshing podemos generar el mallado requerido el cual posee ciertos criterios que nos permiten evaluar la calidad de los elementos mallados en CFD para algoritmos de mallado no ensamblados, se utiliza criterios de comprobación basados en el volumen de los elementos. Para algoritmos de mallado de ensamblaje, utiliza un criterio de comprobación de forma basado en la calidad ortogonal, esta opción de preferencia recomendada para todas las simulaciones

de CFD. (SAS IP.inc, 2015). Todos los criterios de evaluación de elementos de malla en ANSYS son:

- Element quality
- Aspect ratio
- Jacobian ratio
- Warping factor
- Parallel deviation
- Maximum corner angle
- Skewness
- Orthogonal quality (SimuTechGroup, 2014)

3.1.5.2 Mallado del sólido.

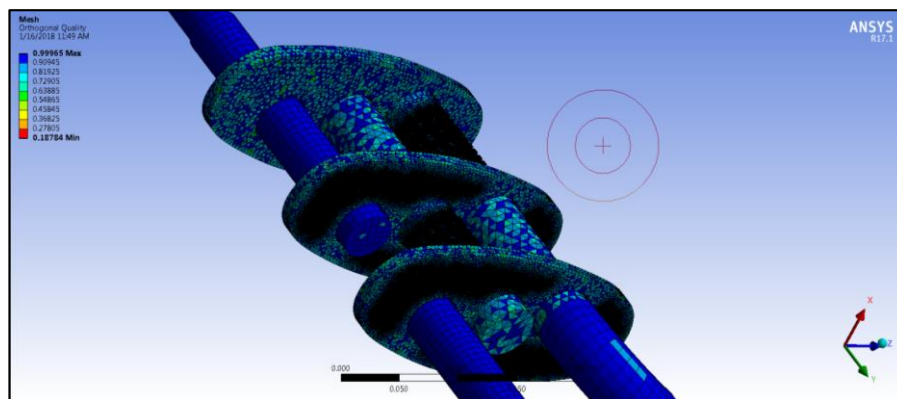


Figura 23-3: Mallado del sólido en el silenciador.

Fuente: Autores

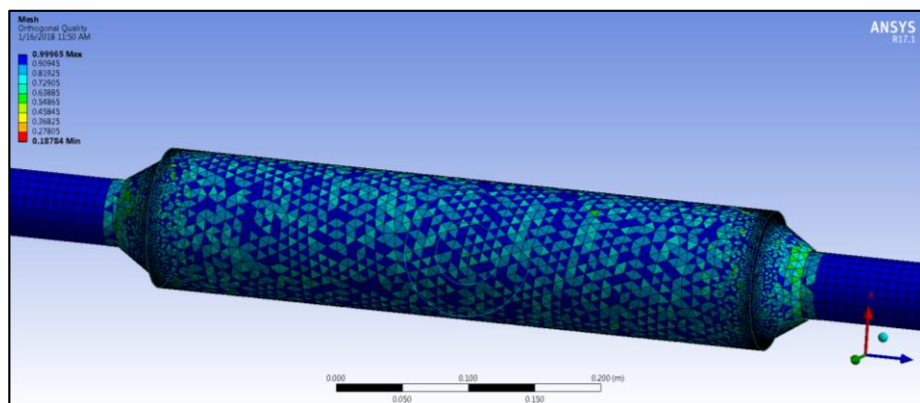


Figura 24-3: Mallado del sólido en el pre-silenciador.

Fuente: Autores

3.1.5.3 Mallado del volumen del fluido.

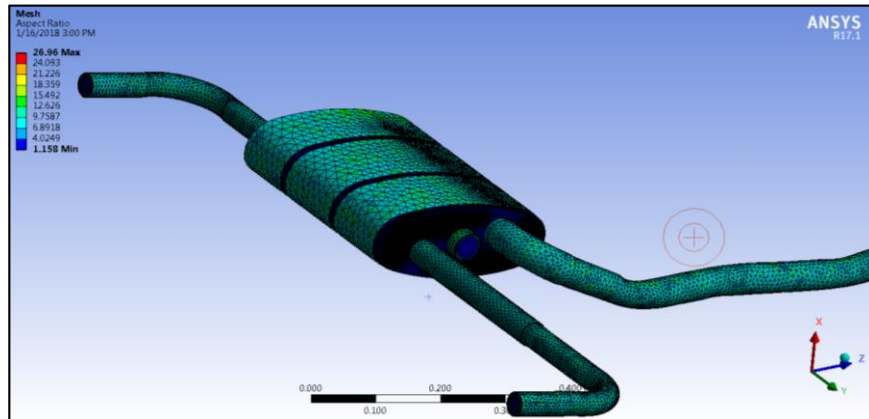


Figura 25-3: Mallado del Volumen del fluido en el silenciador.

Fuente: Autores

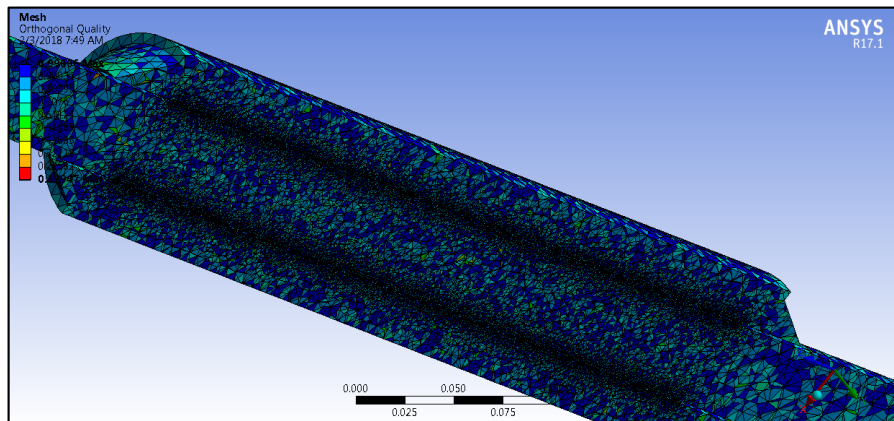


Figura 26-3: Mallado del Volumen del fluido en el pre-silenciador.

Fuente: Autores

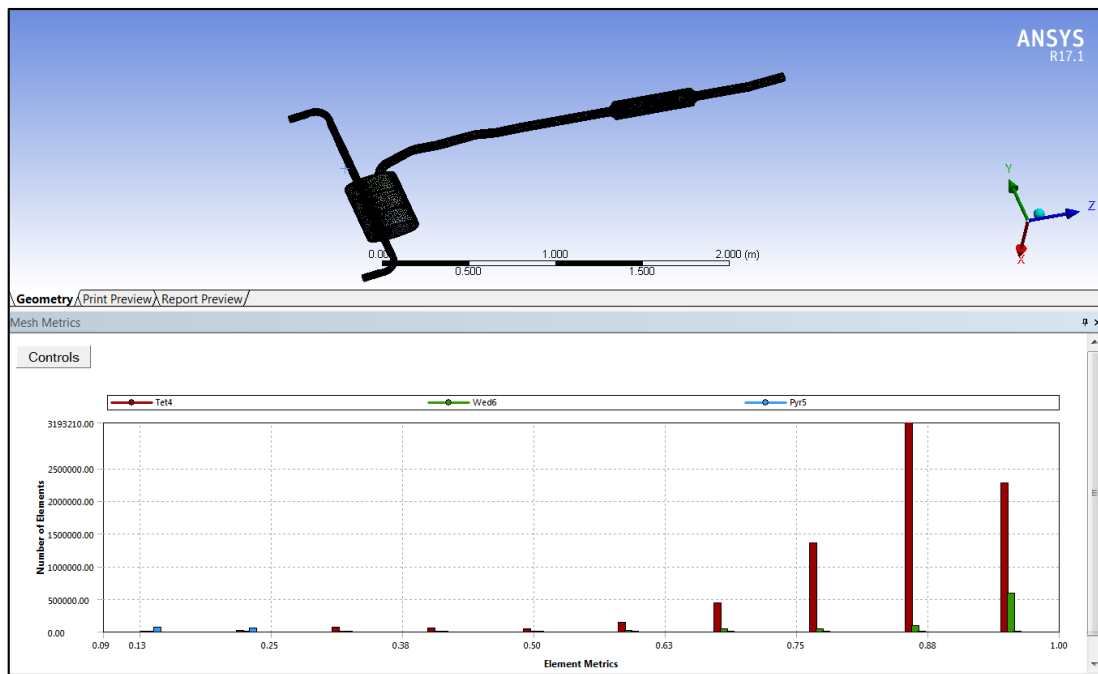


Figura 27-3: Histograma de calidad ortogonal de los elementos de la malla.

Fuente: Autores

3.2 Proceso de Simulación.

Debido al empleo de transferencia de calor en la simulación del modelo CFD el gasto computacional se incrementa considerablemente por lo cual se utilizó un Workstation portátil con procesador Intel Xeon E3 1505v5 2.7Ghz, tarjeta de video Nvidia Quadro M2000M 4Gb y 16GB de memoria RAM.

Se ha considerado realizar 3 simulaciones para probar el sistema de escape en 3 regímenes de giro del motor distintos tomándose un valor en ralentí (800rpm), carga media (3000rpm) y carga completa (5000rpm) para cada uno de los modelos de vehículos ya que al variar el cilindraje también varían los parámetros a tener en cuenta para la simulación CFD que va a ser en función del tiempo para poder constatar las características de funcionamiento del silenciador en cuanto a la transferencia de calor de los gases de escape al silenciador en un periodo de tiempo.

3.2.1 Simulación en ANSYS CFX

Debido a que será necesario comparar los resultados de distintas simulaciones se realizó todas en el mismo entorno de trabajo de ANSYS en un archivo común, a partir de lo

cual se tendrá la geometría, la simulación en CFX y la simulación en ANSYS ACT independientes entre sí pero con relación entre ellas.

Se debe cargar la geometría, y exportarla hacia el módulo CFX para el cálculo CFD y al finalizar visualizar los resultados en un mismo modulo para comparar entre si las distintas geometrías y parámetros.

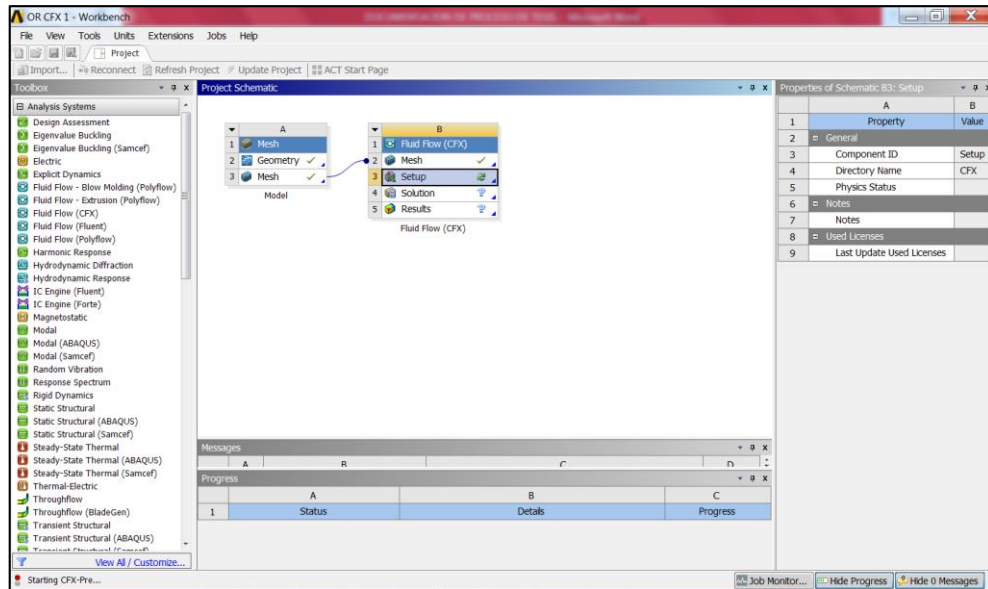


Figura 28-3: Importación de la geometría mallada al módulo CFX.

Fuente: Autores

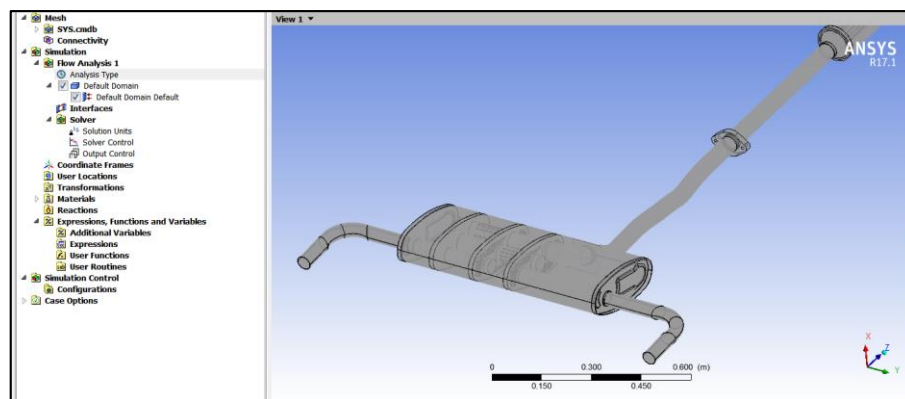


Figura 29-3: Modelo cargado en CFX.

Fuente: Autores

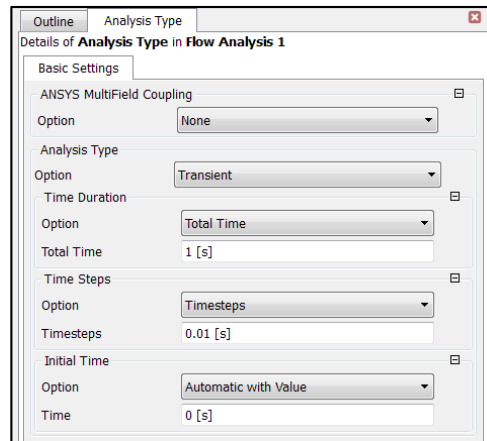


Figura 30-3: Selección del tipo de análisis.

Fuente: Autores

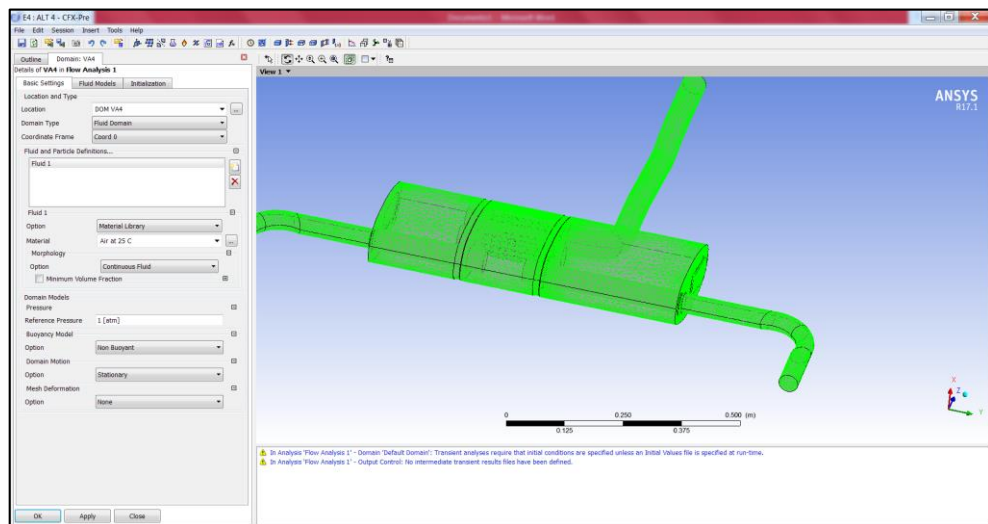


Figura 31-3: Selección del dominio del volumen del fluido.

Fuente: Autores

Se define el dominio correspondiente al fluido dentro de la simulación seleccionando el volumen generado dentro del sólido del silenciador, definiendo el material del que se compone siendo en este caso el aire debido a que se encuentra ya ingresado con datos completos dentro de la librería de materiales de ANSYS, y la presión de referencia a la que este se encuentra el fluido tomándose como referencia debido a que estos motores son sobrealimentados se tomara como valores medios de presión entre 1 y 3 bares manométricos que corresponden a valores normales de presión del funcionamiento de los turbos convencionales para motores gasolina. (Garrett, 2018)

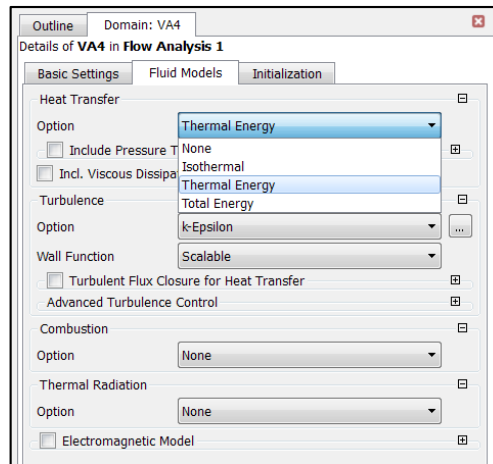


Figura 32-3: Parámetros del tipo de estudio para transferencia de calor.

Fuente: Autores

Se selecciona el modelo de transferencia de calor a utilizarse, el modelo elegido es “Thermal Energy” debido a que es la selección por defecto en modelos de baja velocidad inferiores a 0.3 Mach debido a que en estos la compresibilidad de los gases no es un factor determinante. (Sharcnet, 2015)

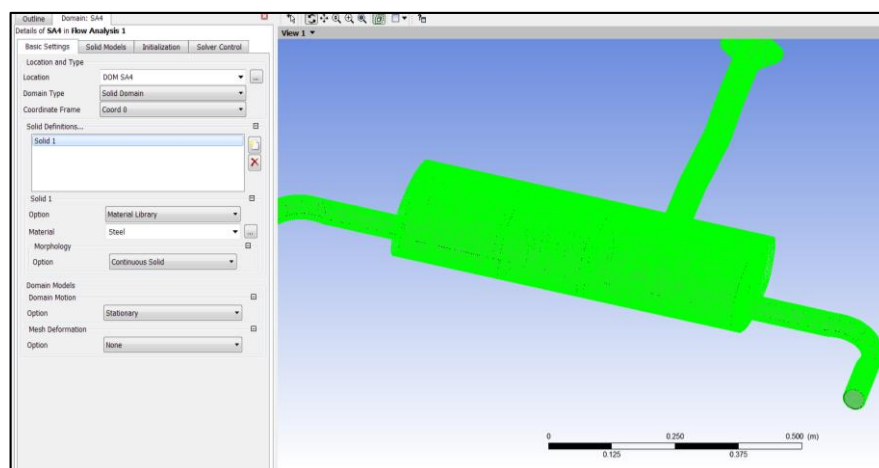


Figura 33-3: Selección del dominio del solido del silenciador.

Fuente: Autores

Se selecciona el dominio correspondiente al solido del silenciador y es definido como acero inoxidable 409 correspondiente al material del cual está fabricado el silenciador debido a que proporciona una baja transferencia de calor, mayor resistencia a la oxidación y corrosión.

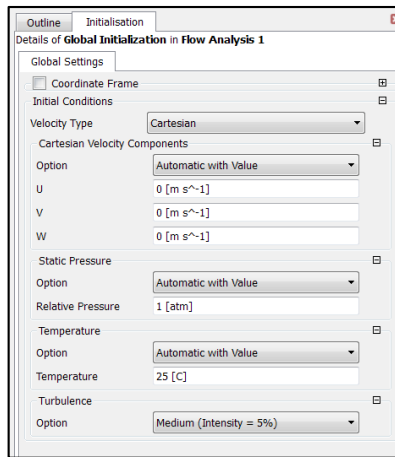


Figura 34-3: Condiciones globales iniciales.

Fuente: Autores

Se definen las condiciones iniciales del sistema definiéndose al flujo silenciador como en reposo, a una presión atmosférica a nivel del mar y una temperatura ambiental de 25 grados C.

Se procede a definir las condiciones de frontera de la entrada las salidas del sistema, esto se realiza para en las entradas definir la velocidad a la que ingresa el fluido y la dirección en relación a la cara seleccionada, siendo en este caso normal y definiendo también la temperatura a la que se encuentra el fluido que ingresa al silenciador. Se definen también las salidas del sistema seleccionando la opción de régimen de flujo subsónico debido a la baja velocidad del sistema y definiendo la presión atmosférica en las salidas ya que esta genera oposición al fluido en su recorrido en la parte final.

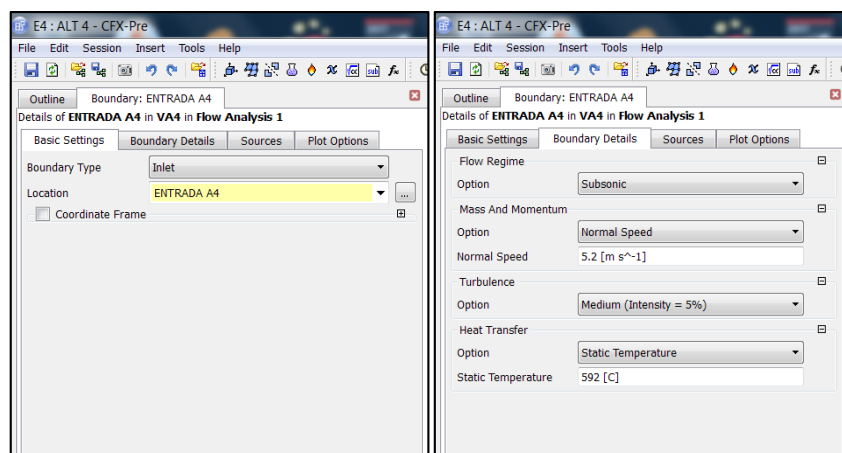


Figura 35-3: Parámetros de frontera para la entrada.

Fuente: Autores

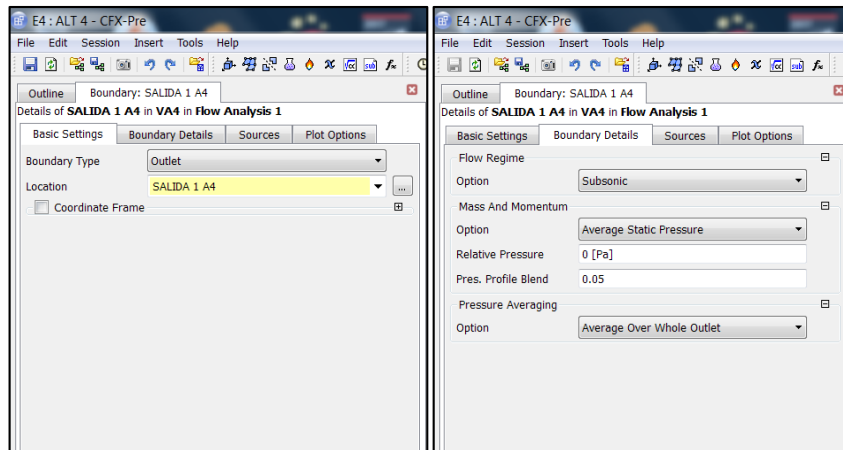


Figura 36-3: Parámetros de frontera para las salidas.

Fuente: Autores

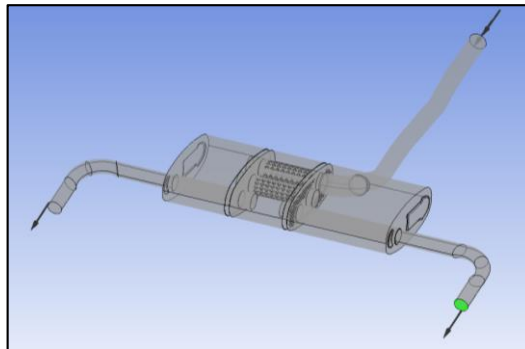


Figura 37-3: Entradas y salidas definidas.

Fuente: Autores

Debido a que la simulación cuenta con transferencia de calor por convección se debe definir la interfaz de convección indicando que se trata del tipo fluido a sólido, los contactos que se dan e identificando la correspondiente geometría para la interfaz y las caras que se encuentran en contacto de cada una de estos.

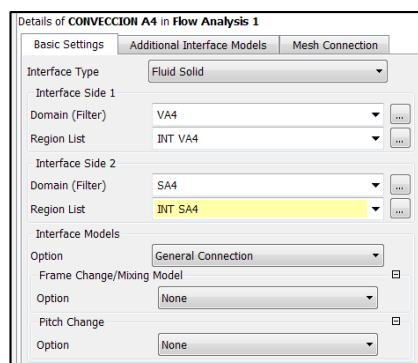


Figura 38-3: Parámetros para la transferencia de calor por convección.

Fuente: Autores

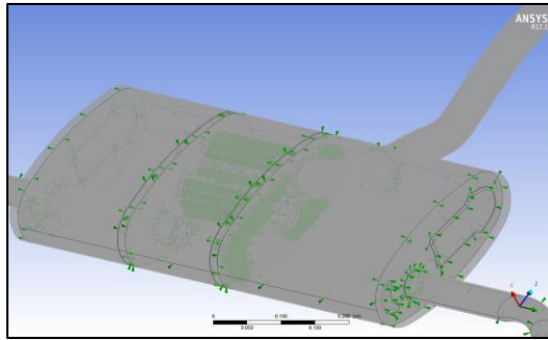


Figura 39-3: Contactos entre el sólido y el fluido definidos para la transferencia de calor.

Fuente: Autores

Se procedió a seleccionar los parámetros que serán almacenados en cada intervalo para ser analizados sus resultados y poder compararlos, en este caso se optó por almacenar los valores de presión, temperatura y velocidad del fluido, lo cual reduce el tamaño de los archivos generados por ANSYS CFX.

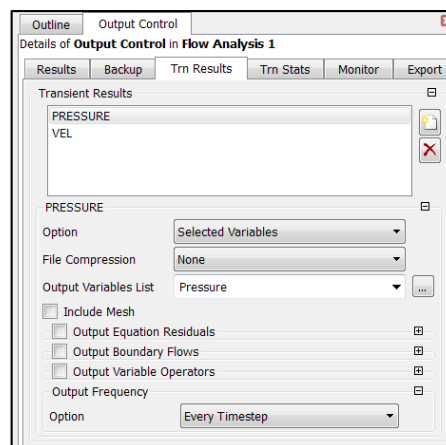


Figura 40-3: Parámetros para el control a la salida.

Fuente: Autores

Para el análisis de transferencia de calor se toma en cuenta las propiedades físicas del material específicamente las térmicas debido a que en base a estas el programa calcula la difusividad térmica que nos indica que tan rápido un material responde a los cambios térmicos del ambiente, ya que es la capacidad del material de transportar energía a través de la conducción térmica en relación a su capacidad para almacenarla. (CAE Associates Inc., 2016)

$$\alpha = \frac{k}{p \cdot Cp} \quad (6)$$

Siendo:

k =conductividad térmica.

p =densidad.

Cp =calor específico. (CAE Associates Inc., 2016)

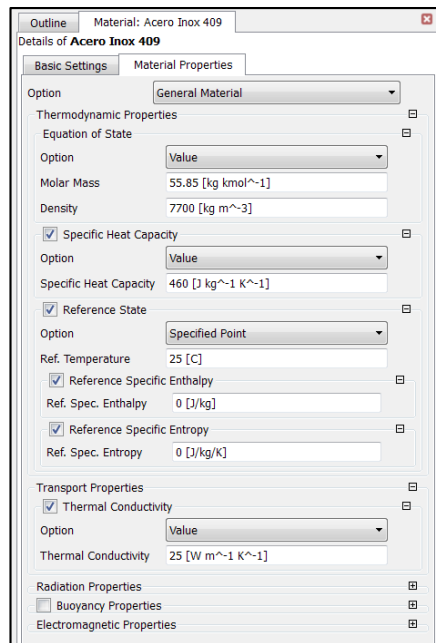


Figura 41-3: Propiedades térmicas del material para la transferencia de calor.

Fuente: Autores

Lo último es definir los detalles de vista para el control de ejecución, seleccionamos la opción de doble precisión debido a que se obtendrá mejores resultados al generar el doble de operaciones matemáticas para el cálculo de los parámetros de salida.

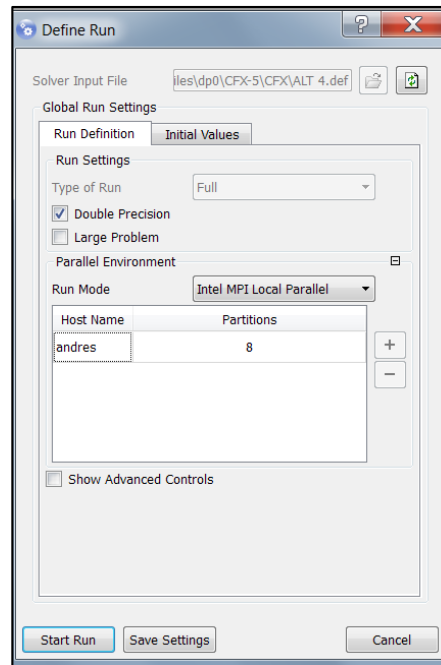


Figura 42-3: Parámetros de control de ejecución.

Fuente: Autores

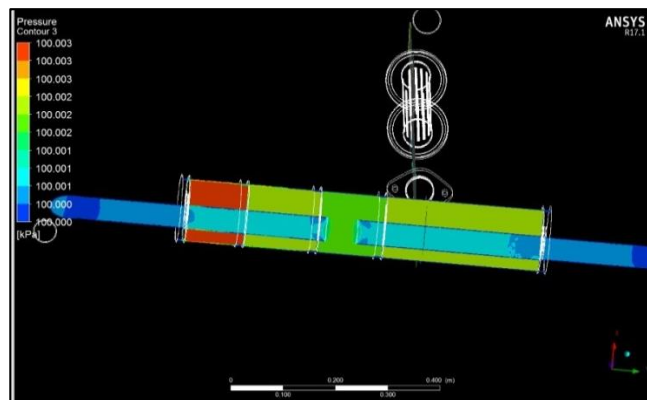


Figura 43-3: Gráfico de la distribución de presiones en las cámaras de la simulación.

Fuente: Autores

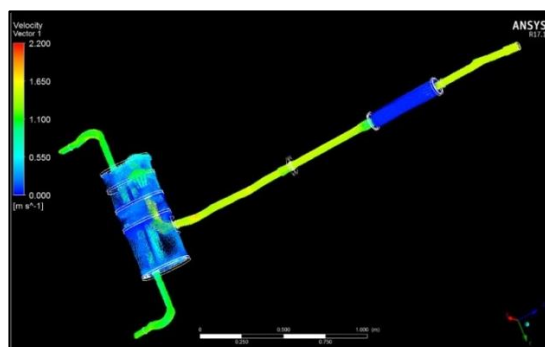


Figura 44-3: Gráfico de los vectores de velocidad obtenido de la simulación.

Fuente: Autores

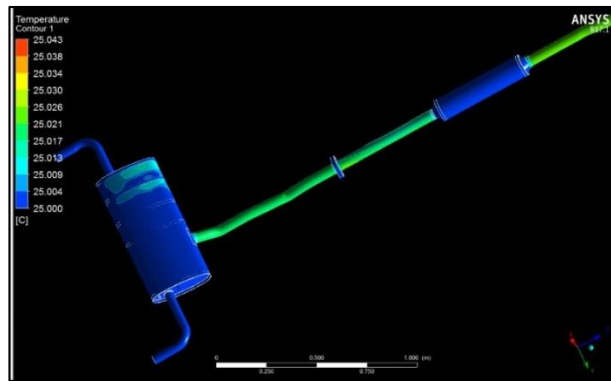


Figura 45-3: Distribución de la transferencia de calor del modelo de la simulación.

Fuente: Autores

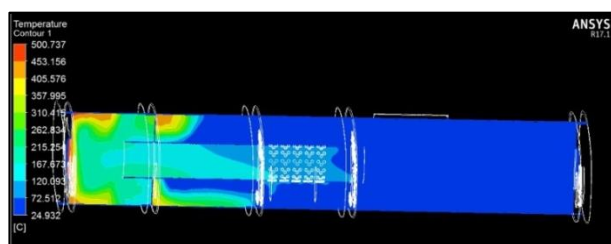


Figura 46-3: Vista en corte de la distribución de temperatura en el silenciador.

Fuente: Autores

3.2.2 Simulación en ANSYS ACT

Para la simulación acústica se utilizara un módulo acústico generado para ANSYS ACT usando como base el ANSYS Mechanical con una simulación de respuesta armónica de vibraciones, debido a la extensión acústica se generara una barra de herramientas adicional en la interfaz de ANSYS permitiendo definir las condiciones de frontera y parámetros acústicos.

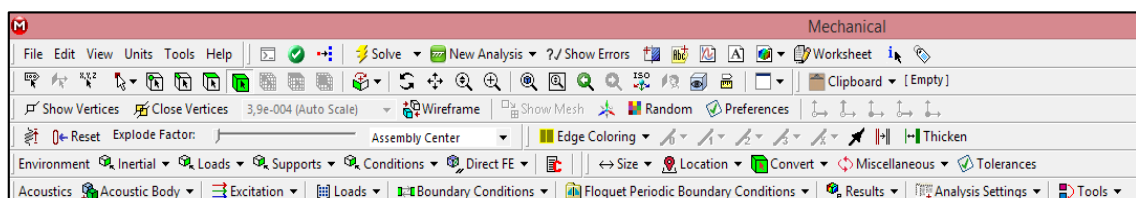


Figura 47-3: Barra de herramientas acústicas en la interfaz de ANSYS.

Fuente: Autores

Al importar la geometría requerida al módulo de respuesta armónica se debe aplicar los métodos adecuados para la generación de la malla con la selección del tipo de

elementos y el tamaño de estos, de esta manera consiguiendo una calidad de malla aceptable para aumentar la precisión de los valores obtenidos.

En ajustes del análisis se debe cambiar el tipo de espaciamiento de la frecuencia a logarítmico debido a que la intensidad de sonido en decibeles se basa en una escala logarítmica. El rango de frecuencia se debe establecer entre 0 y 3000 Hz debido a que es el rango de frecuencias utilizado mayoritariamente en los trabajos en silenciadores utilizados en vehículos.

Debe definirse el número de intervalos de solución lo cual influye directamente en el tiempo de solución para esta simulación se utilizará 20 intervalos para poder generar la gráfica de la pérdida de transmisión del sonido en función de la frecuencia. También se debe cambiar el método de solución al completo debido a que es el que nos ofrece resultados más precisos.

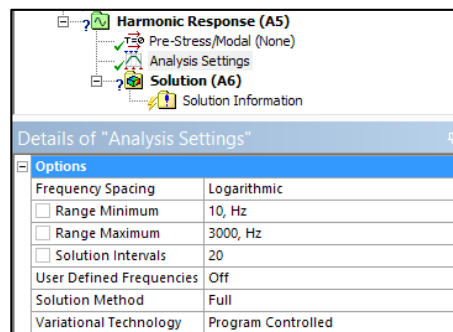


Figura 48-3: Ajustes del análisis.

Fuente: Autores

Para definir el cuerpo se debe insertar un cuerpo acústico en el árbol de tareas y seleccionando el volumen correspondiente al dominio del fluido dentro del silenciador, en esta simulación se decidió por utilizar al aire como fluido ya que en la librería de ANSYS se encuentra cargado con todas las propiedades físicas necesarias para poder realizar la simulación.

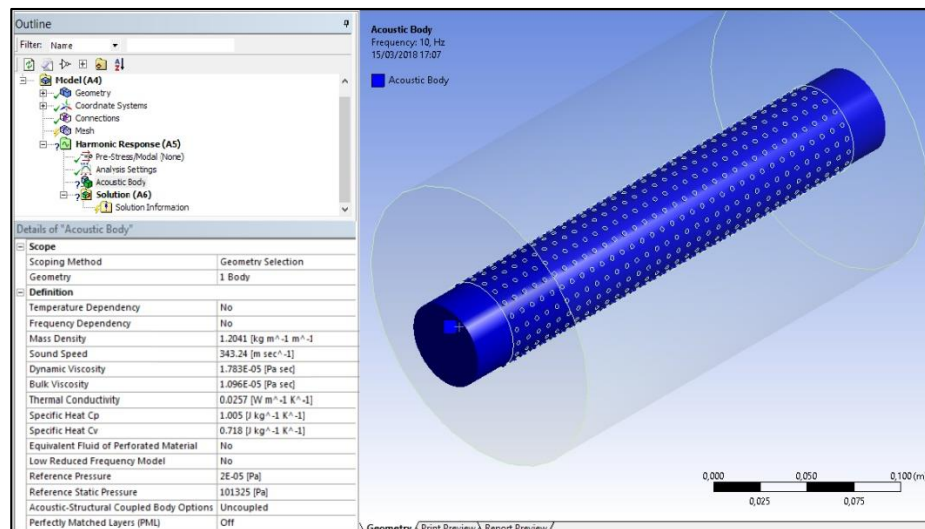


Figura 49-3: Detalles del cuerpo Acústico.

Fuente: Autores

Mass Density	1.2041 [kg m ⁻³]
Sound Speed	343.24 [m sec ⁻¹]
Dynamic Viscosity	1.783E-05 [Pa sec]
Bulk Viscosity	1.096E-05 [Pa sec]
Thermal Conductivity	0.0257 [W m ⁻¹ K ⁻¹]
Specific Heat Cp	1.005 [J kg ⁻¹ K ⁻¹]
Specific Heat Cv	0.718 [J kg ⁻¹ K ⁻¹]
Equivalent Fluid of Perforated Material	JCA
Fluid Resistivity	10000 [N sec m ⁻¹ m ⁻¹ m ⁻¹ m ⁻¹]

Figura 50-3: Propiedades físicas pertenecientes al fluido a utilizar.

Fuente: Autores

Dentro de la barra de herramientas se debe seleccionar velocidad normal a la superficie en excitación, aplicada a la cara de ingreso del fluido, en la cual se definirá la velocidad de entrada del fluido en base a lo cual se calculará la cantidad de ruido en la entrada.

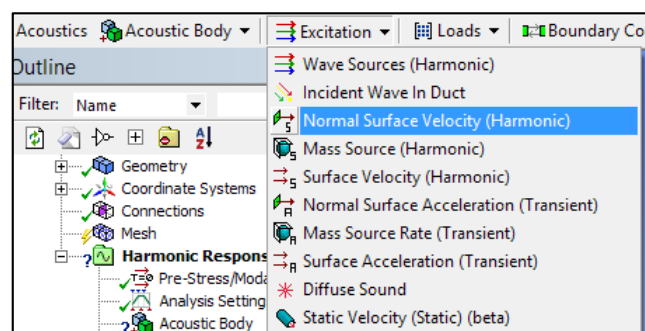


Figura 51-3: Ajustes del análisis.

Fuente: Autores

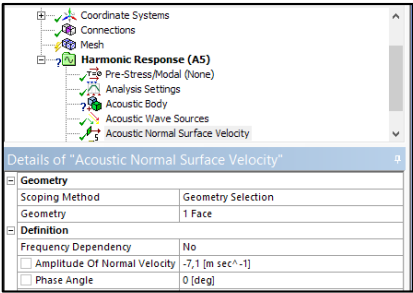


Figura 52-3: Ajustes del análisis.

Fuente: Autores

Los puertos entrada y la salida del sistema se deben definir debido a que estos son utilizados por el software para calcular la matriz de admisión de transferencia y la perdida de transmisión entre los 2 puertos.

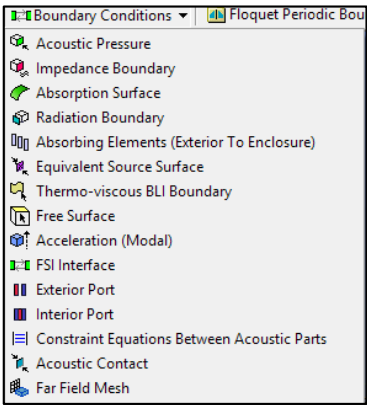


Figura 53-3: Menú de las condiciones de contorno en la barra de herramientas acústicas.

Fuente: Autores

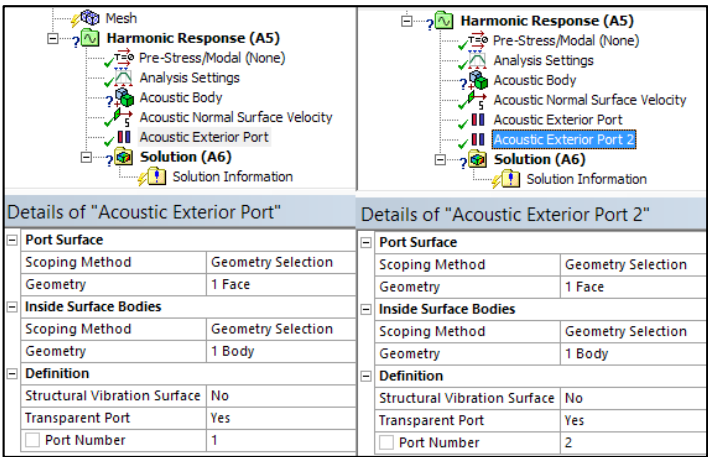


Figura 54-3: Selección de las caras para los puertos de entrada y salida, además del volumen del fluido.

Fuente: Autores

Dado que las condiciones de absorcion de las ondas permiten modelar una pequeña porcion del dominio del fluido y asumir que las ondas propagadas son emitidas fuera del sistema y no reflejadas de nuevo al interior ya que se consideraria al silenciador como cerrado, Para definir al silenciador como abierto en sus extremos debemos hacer uso de condiciones de radiacion para absorber las ondas salientes del sistema. (ANSYS, 2016)

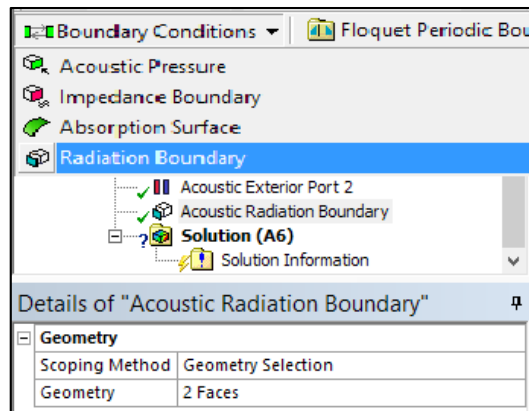


Figura 55-3: Condiciones de radiación en la barra de herramientas acústicas y la selección de las caras de entrada y salida.

Fuente: Autores

Para obtener valores y la grafica de perdida de transmision en funcion de la frecuencia se debe insertar el grafico de resultado de potencia acustica seleccionando el puerto de entrada y el puerto de salida, así como seleccionando en resultado perdida de transmision.

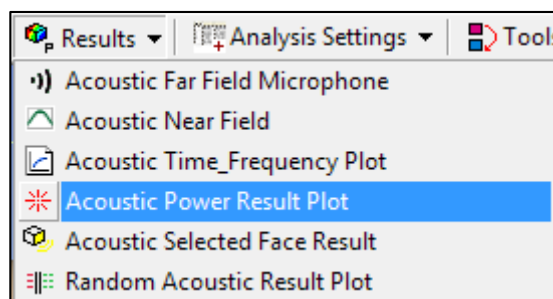


Figura 56-3: Gráfica de resultado de potencia acústica en la barra de herramientas acústicas.

Fuente: Autores

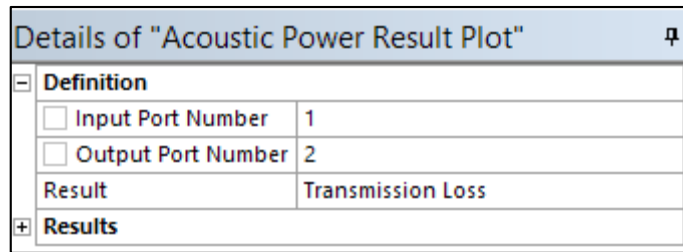


Figura 57-3: Ajustes de la gráfica de resultado de potencia acústica.

Fuente: Autores

3.2.3 Generación de alternativas

De acuerdo con los resultados en streamlines en la simulación se puede concluir que existe una subutilización de las cámaras intermedias, mientras que la mayoría del flujo se concentra en la primera y segunda cámara, con lo cual en esta zona se producen puntos en los que se genera una transferencia de calor más rápida y fácilmente apreciable.

Debido a estas consideraciones de la simulación se optó por la generación de 2 modelos de silenciador alternativos para ser probados mediante simulación CFD bajo las mismas condiciones que el modelo original, la cual servirá de punto de partida para probar el comportamiento de estos en comparación con el original, buscando principalmente una distribución más uniforme de la temperatura en las cámaras del silenciador y una circulación más óptima del silenciador para que el flujo de gases no se concentren sobre las primeras cámaras.

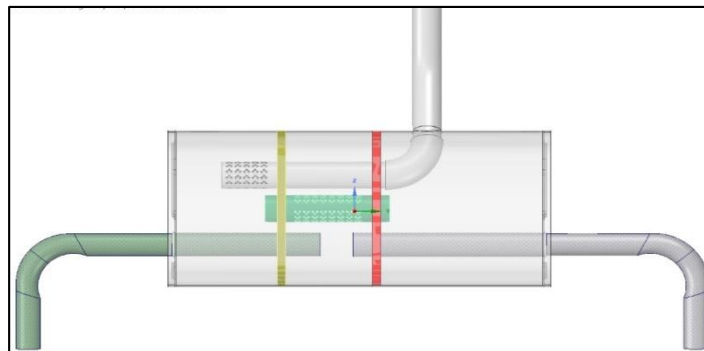


Figura 58-3: Alternativa número 1 del silenciador.

Fuente: Autores

La primera alternativa se basa en 2 efectos de las distintas configuraciones de silenciadores. La primera de estas es la longitud de las cámaras con lo que destaca la influencia de esta en la atenuación de ruido, al aumentar la longitud el pico de atenuación se mantiene pero la frecuencia con la que aparece este pico de atenuación se reduce. (Davis, y otros, 1954)

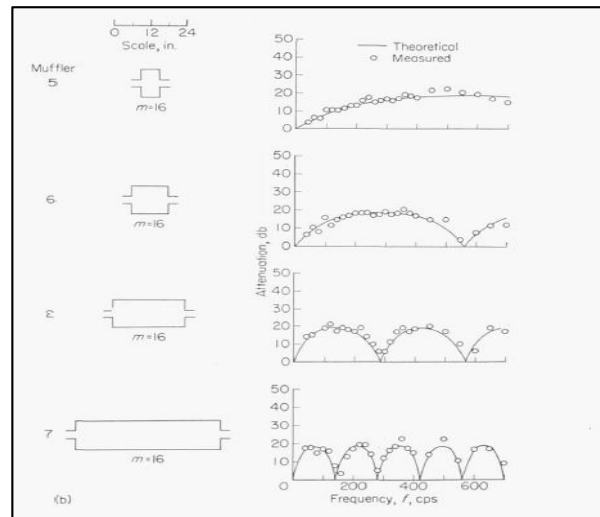


Figura 59-3: Efecto de la longitud de la cámara sobre la frecuencia de atenuación máxima.

Fuente: (Davis, y otros, 1954)

La segunda consideración es el efecto del número de cámaras, el cual nos indica que al aumentar estas se produce un aumento en la atenuación máxima, sin embargo, al darse solo un pequeño aumento entre de 2 a 3 cámaras se determina que un número mayor de cámaras no logra generar un aumento significativo de la atenuación. (Davis, y otros, 1954)

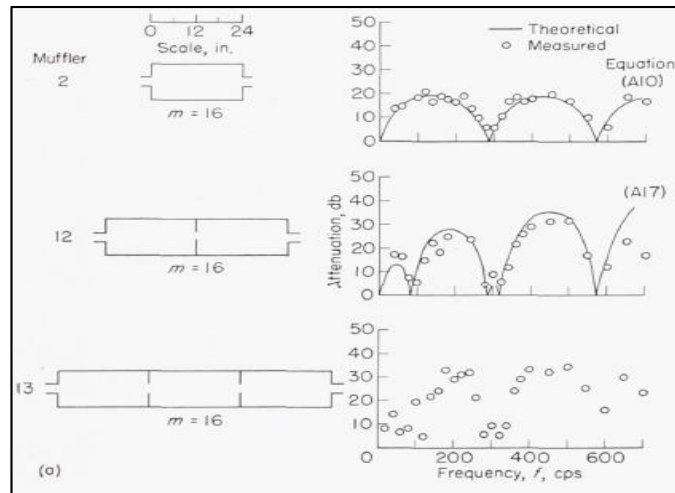


Figura 60-3: Efecto del número de cámaras sobre la atenuación máxima generada.

Fuente: (Davis, y otros, 1954)

La alternativa del silenciador se generó con el criterio de que al reducir el número de cámaras de 4 a 3 no afecta en gran medida el pico de atenuación producido, mientras que al reducir el número de cámaras el resto puede aumentar su tamaño generando una reducción en la frecuencia con la cual se genera este pico. También se basó en generar un mayor espacio en las primeras cámaras para que los gases de escape puedan circular y distribuir de mejor manera el calor transferido hacia el silenciador. (Davis, y otros, 1954)

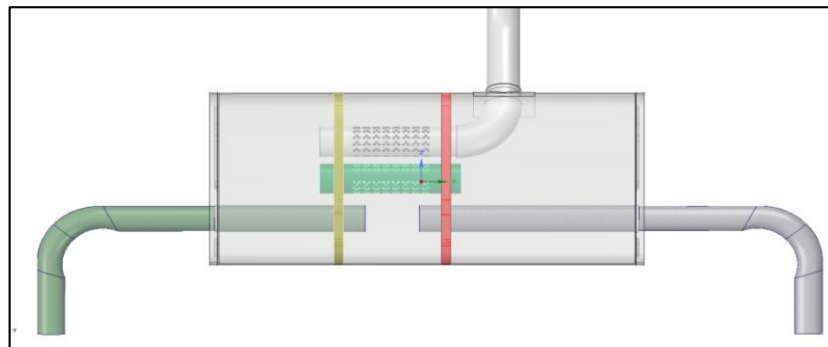


Figura 61-3: Alternativa número 2 del silenciador

Fuente: Autores

En la generación de la segunda alternativa del silenciador se tomó en cuenta los mismos efectos considerados en la primera alternativa del número de cámaras sobre la atenuación máxima generada y efecto de la longitud de la cámara sobre la frecuencia de atenuación, además aumentar el flujo del fluido hacia la última cámara del silenciador

eliminando las perforaciones en tubo que conecta la primera y la tercera cámara. (Davis, y otros, 1954)

La segunda alternativa se generó para distribuir una mayor parte del flujo de los gases de escape hacia la segunda cámara y a su vez aumentar el paso hacia la tercera cámara, para de esta manera reducir la cantidad de gases de escape que se dirigen a la primera cámara previniendo que en ésta se produzca una mayor concentración de temperatura. El efecto de la longitud del tubo en una conexión interna entre cámaras se consideró para determinar la ventaja obtenida al utilizar un tubo de determinada longitud para conectar las cámaras. (Davis, y otros, 1954)

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las simulaciones CFD se generaron en un mismo entorno de trabajo, para facilitar la comparación de resultados de las simulaciones de las distintas geometrías de silenciadores se generó la visualización en módulo de resultados de ANSYS para CFD importando los resultados obtenidos en ANSYS CFX y por medio de “Chase Comparison” se visualiza los resultados al mismo tiempo del silenciador original con las alternativas.

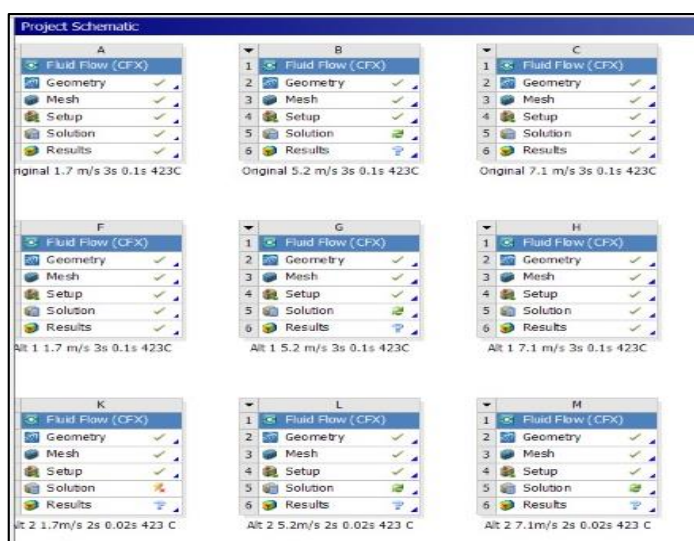


Figura 1-4: Entorno de trabajo con las simulaciones en ANSYS CFX del diseño original y las alternativas en 3 regímenes.

Fuente: Autores

4.1 Simulación en ralentí (800rpm) con 1.7m/s de entrada al sistema.

Para la simulación en ralentí se tomó como valor de referencia de la velocidad de entrada la velocidad medida en la versión 1.5T del vehículo al ser la más baja registrada entre ambas versiones.

4.1.1 Velocidad interna del fluido.

Para la visualización de la velocidad del fluido al interior del silenciador se obtuvo con un contorno generado en un plano en el silenciador, así como mediante los vectores de

velocidad los cuales a su vez indican la dirección de flujo del fluido. La velocidad interna sirvió de referencia para conocer las trayectorias del fluido al interior del silenciador y como se distribuye internamente antes de abandonar el silenciador.

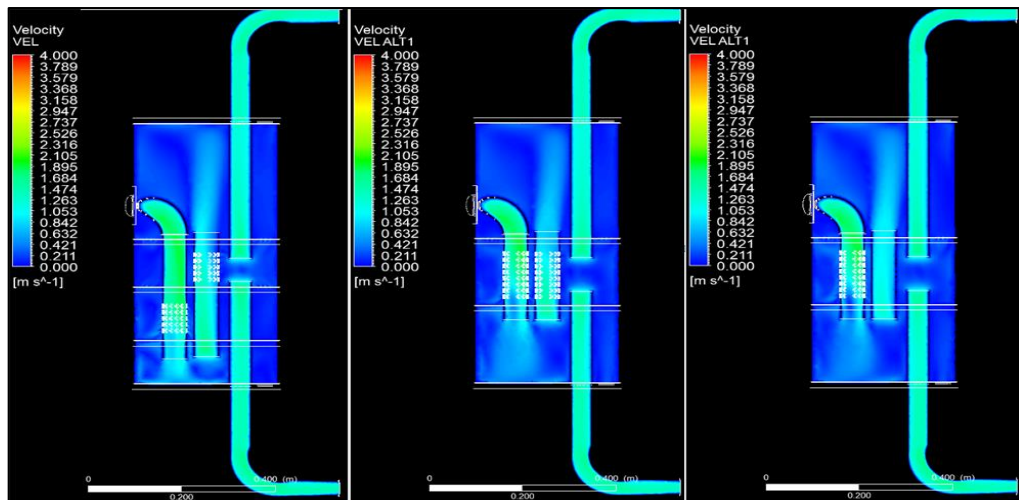


Figura 2-4: Comparación de velocidades internas del sólido en un plano, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

Debido a la baja velocidad con la cual ingresa el fluido al silenciador se observa que el fluido tiene un comportamiento similar las velocidades con las cuales el fluido circula en el silenciador y lo abandona.

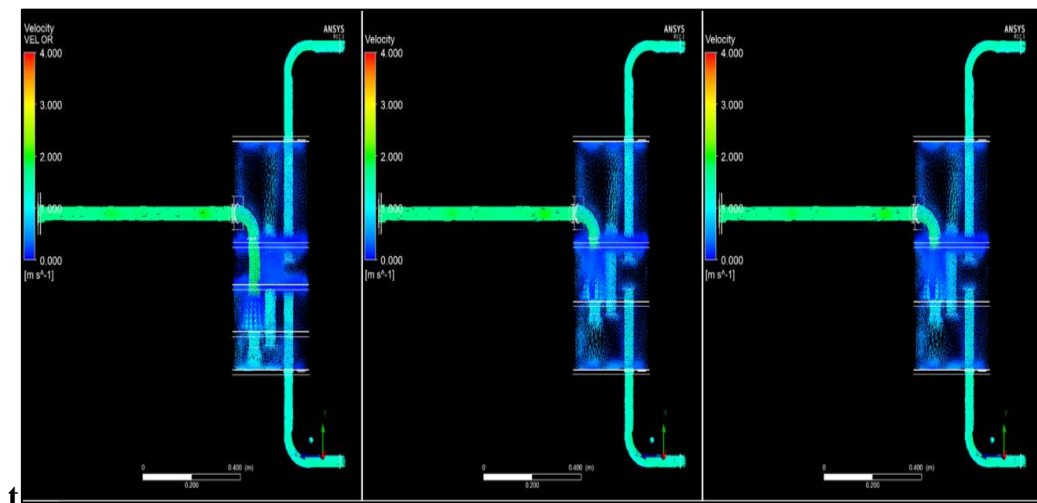


Figura 3-4: Comparación de velocidades internas del sólido por medio de vectores, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.1.2 Presión interna de las cámaras.

La presión interna del silenciador se generó mediante un plano en corte, la presión sirve como referencia para determinar las zonas del silenciador que pueden generar un freno al paso de los gases de escape dificultando su avance hacia el exterior.

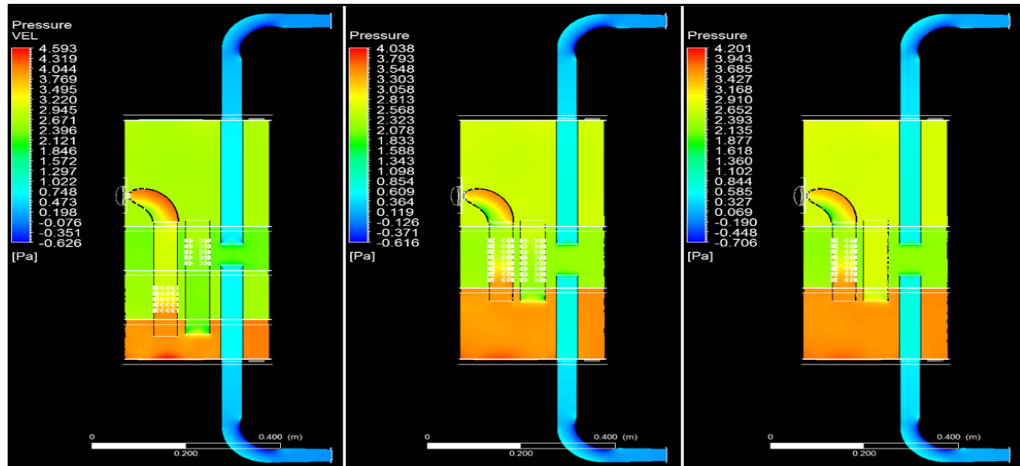


Figura 4-4: Comparación de presiones internas de las cámaras, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

Tanto en el silenciador original como en las alternativas se observa que en la primera cámara del silenciador se produce una elevada presión interna, lo cual indica que no se ha producido un aumento de las presiones en las alternativas, lo cual se traduce en no generar un freno al flujo de los gases de escape en el silenciador.

4.1.3 Temperatura interna del fluido.

La temperatura interna del fluido en el silenciador se observa un comportamiento similar entre el silenciador original y la primera alternativa propuestas, con la diferencia que genera un aumento de temperatura en el fluido que sale del silenciador. En la segunda alternativa el fluido en la primera cámara presenta una disminución de temperatura mientras que en la tercera cámara esta aumenta así como a la salida del silenciador al exterior.

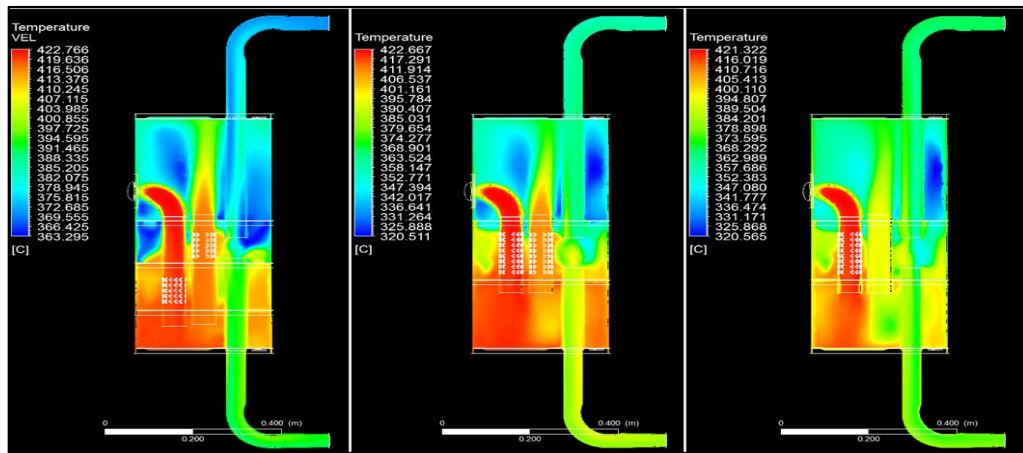


Figura 5-4: Comparación de temperaturas internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.1.4 Transferencia de calor al sólido.

En la parte exterior de la carcasa se puede apreciar que en la primera alternativa la temperatura en la segunda y tercera cámara aumenta ligeramente mientras que en los tubos de salida del silenciador aumenta la temperatura, mientras que en la segunda alternativa la temperatura se distribuye de manera mas uniforme sobre toda su extensión evitando la concentracion de calor en zonas específicas.



Figura 6-4: Comparación de temperaturas externas en la carcasa, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.2 Simulación en media carga (4000rpm) con 5.2m/s de entrada al sistema.

Para la simulación en media carga se tomó como valor de referencia de la velocidad de entrada la velocidad media entre las medidas de las 2 versiones del vehículo en 4000rpm obteniendo de esta manera un valor que puede ser aplicado al silenciador para considerar un régimen normal de operación del vehículo.

4.2.1 Velocidades del fluido.

En cuanto a la velocidad del fluido dentro del silenciador existe un ligero aumento en la velocidad con la cual el fluido sale del silenciador, con lo cual se puede comprobar que las alternativas presentan una menor resistencia al flujo de los gases de escape en su interior. Mediante las gráficas de streamlines se puede observar las direcciones de la velocidad tangente del fluido en el silenciador observándose que en las alternativas se tiene una distribución interna del fluido en la cual se ocupan las 3 cámaras de manera casi uniforme.

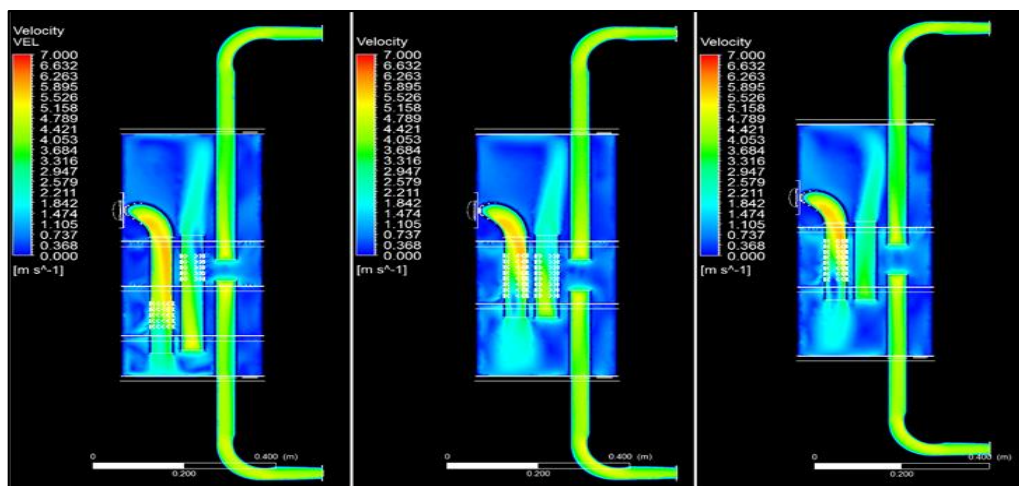


Figura 7-4: Comparación de velocidades internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

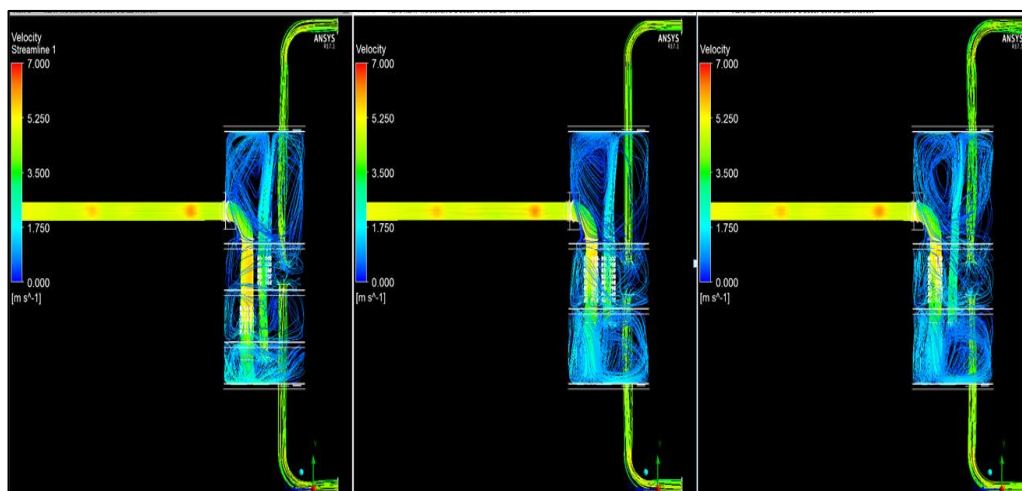


Figura 8-4: Comparación de velocidades del fluido mediante streamlines, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.2.2 Presión interna de las cámaras.

En las presiones internas del silenciador se puede apreciar que la presión manométrica de la primera camara es mayor que la presión con la cual ingresa el fluido al silenciador. Es claramente apreciable que en las alternativas la presión generada es menor que en el original, lo cual esta relacionado con la contrapresión que se genera en el sistema de escape teniendo una menor resistencia al avance de los gases de escape en las alternativas.

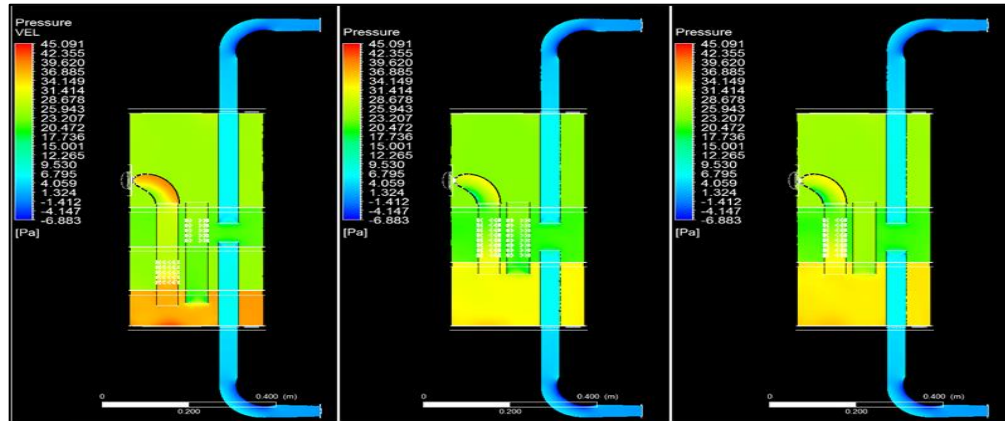


Figura 9-4: Comparación de presiones internas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.2.3 Temperatura interna del fluido.

La temperatura interna del fluido en el silenciador se observa un aumento de la temperatura con la que el fluido sale en el diseño original, mientras que en las alternativas se observa que la temperatura del fluido en la primera cámara se ha reducido.

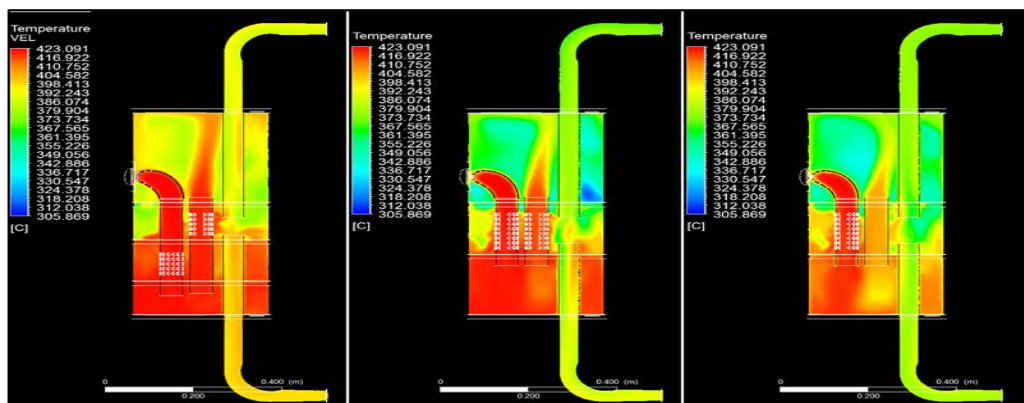


Figura 10-4: Comparación de temperaturas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.2.4 Transferencia de calor al sólido.

De los resultados obtenidos, la transferencia de calor del fluido al sólido del silenciador las alternativas han reducido la cantidad de calor que se transfiere a la tapa lateral izquierda del silenciador, dado que al aumentar el tamaño de la primera cámara y reducir la longitud del tubo de entrada se ha conseguido que el fluido se distribuya de mejor manera así como el calor en la cámara.

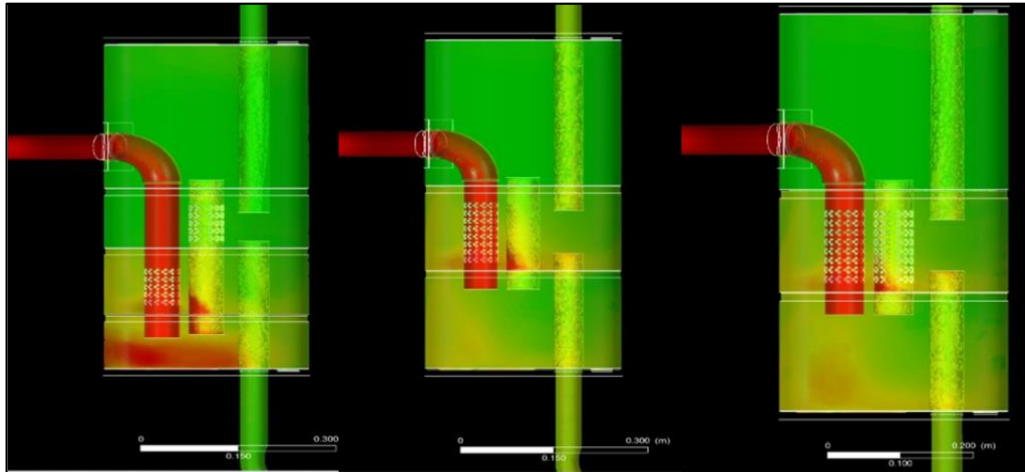


Figura 11-4: Comparación de temperaturas internas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

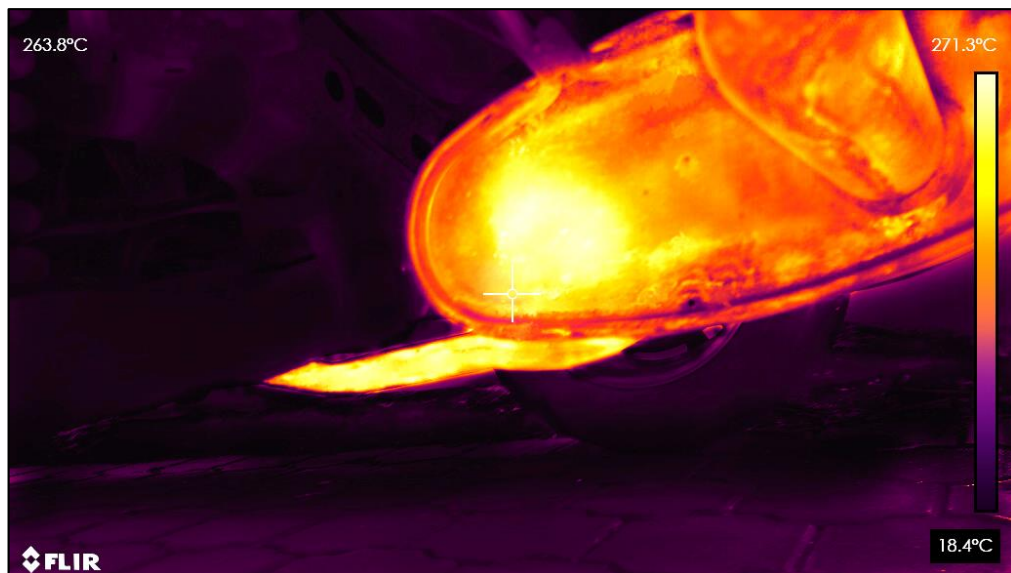


Figura 12-4: Imagen termográfica del comportamiento de la distribución de calor en la superficie del silenciador del Zotye T600.

Fuente: Autores

En la parte exterior de la carcasa se puede apreciar que en la primera alternativa la temperatura es inferior en la segunda y tercera cámara, mientras que en la segunda alternativa la temperatura se distribuye de manera mas uniforme sobre toda su extensión evitando la concentracion de calor en zonas especificas .



Figura 13-4: Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.3 Simulación en carga completa (5500rpm) con 7.1m/s de entrada al sistema.

Para la simulación en carga completa se tomó como valor de referencia de la velocidad de entrada la velocidad medida máxima a 5500rpm en la versión 2.0 del vehículo considerándola la condición de funcionamiento más alta en la cual las variables del silenciador estarán en su valor más alto.

4.3.1 Velocidad interna del fluido.

En cuanto a la velocidad del fluido dentro del silenciador existe un aumento en la velocidad con la cual el fluido ingresa en el diseño original y en la salida del lado izquierdo, dado que las alternativas distribuyen de manera más uniforme el fluido, en el diseño original al aumentar la velocidad el fluido reduce ligeramente su trayectoria llegando más pronto a la salida del silenciador.

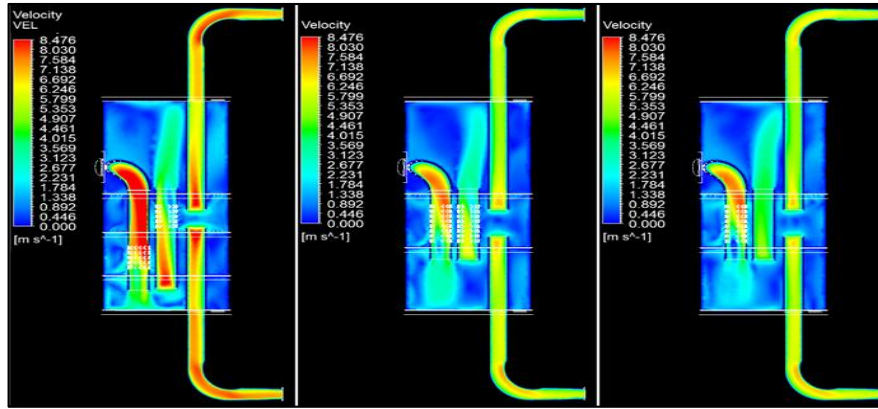


Figura 14-4: Comparación de velocidades internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

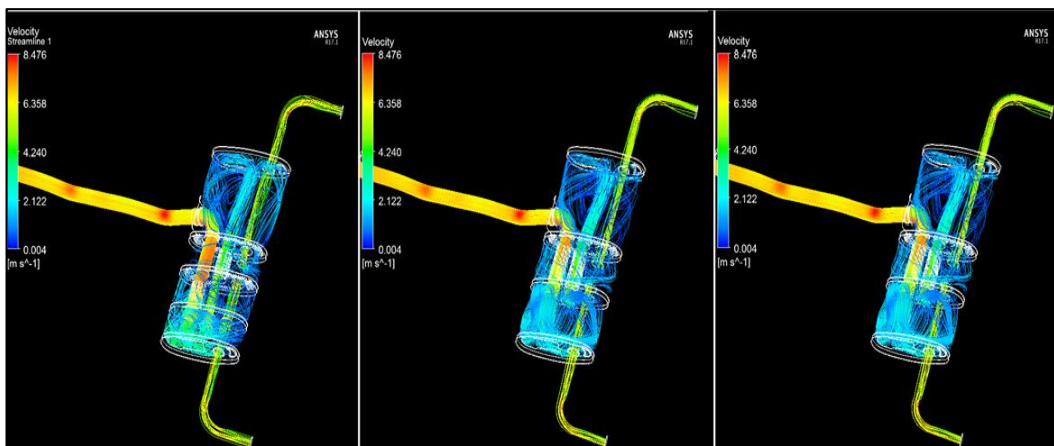


Figura 15-4: Comparación de trayectorias del fluido con streamlines, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

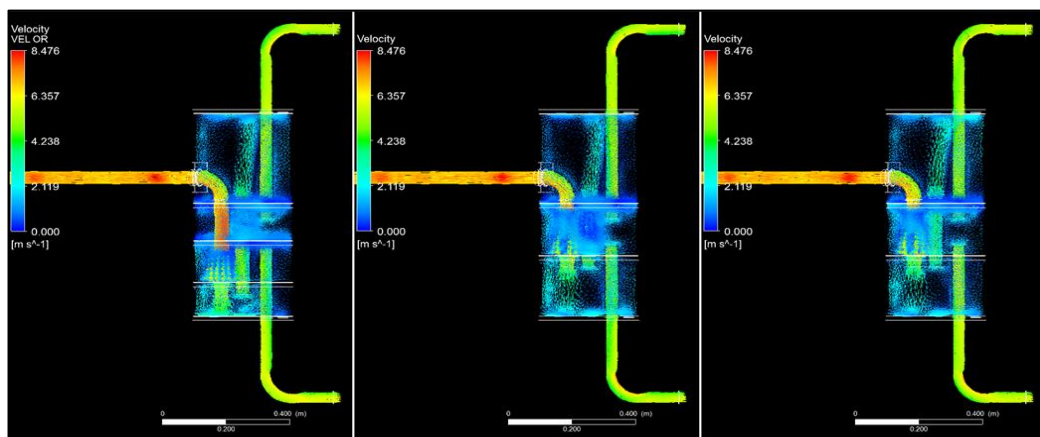


Figura 16-4: Comparación de trayectorias del fluido con vectores, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

Mediante histogramas en las salidas del silenciador podemos cuantificar la cantidad de fluido que sale a distintas velocidades, en la comparación entre el diseño original con la primera alternativa se observa en la figura 4-14, la comparación en la salida derecha del silenciador de la que concluimos que ambos tienen una velocidad similar mientras que del histograma de la figura 4-15, la comparación en la salida izquierda del silenciador el diseño original presenta un ligero aumento de la velocidad de salida de los gases de escape.

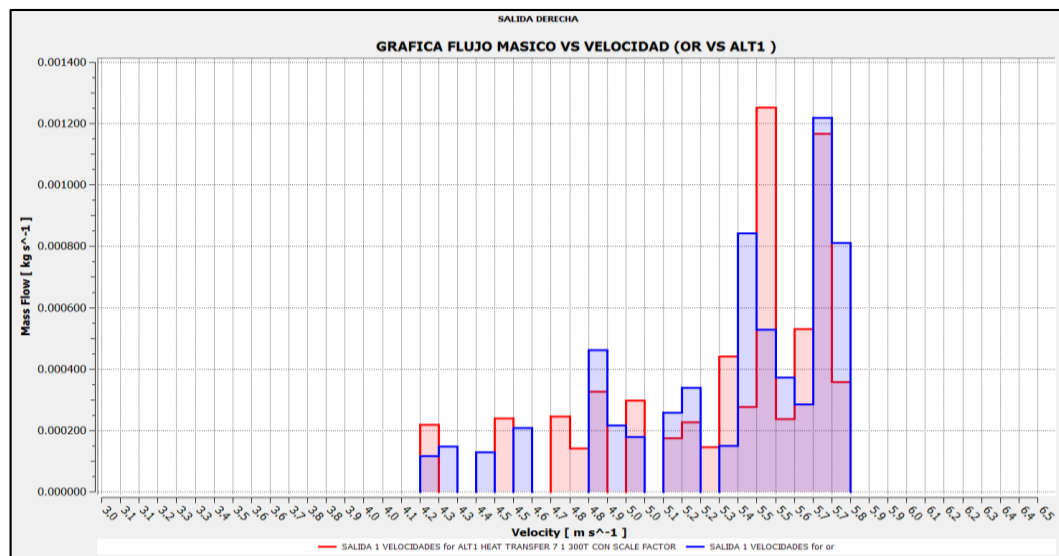


Figura 17-4: Comparación de velocidades a la salida derecha del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 1 (rojo).

Fuente: Autores

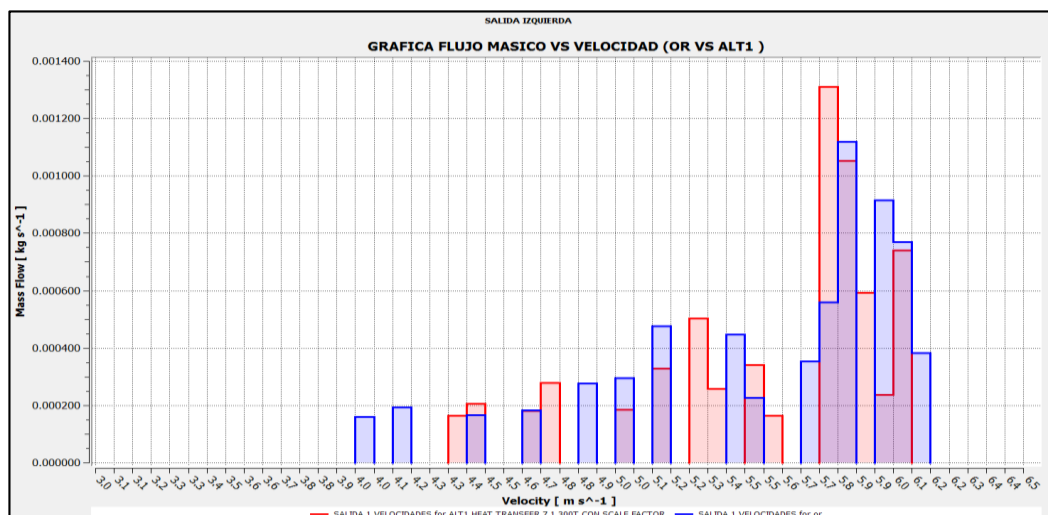


Figura 18-4: Comparación de velocidades a la salida izquierda del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 1 (rojo).

Fuente: Autores

En los histogramas de comparación de las velocidades de salida entre el diseño original y la segunda alternativa en la figura 4-16 las velocidades en la salida derecha es ligeramente mayor en la alternativa con respecto al diseño original y del histograma de la salida izquierda de la figura 4-17 tiene una velocidad de salida mayor en el diseño original en comparación a la segunda alternativa.

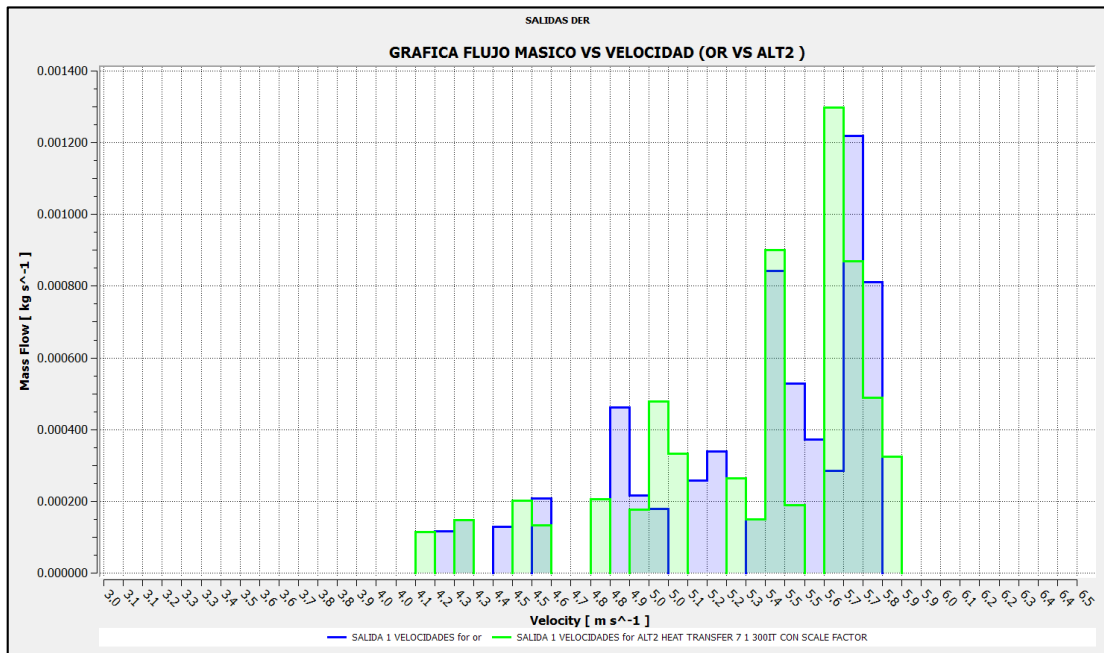


Figura 19-4: Comparación de velocidades a la salida derecha del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 2 (verde).

Fuente: Autores

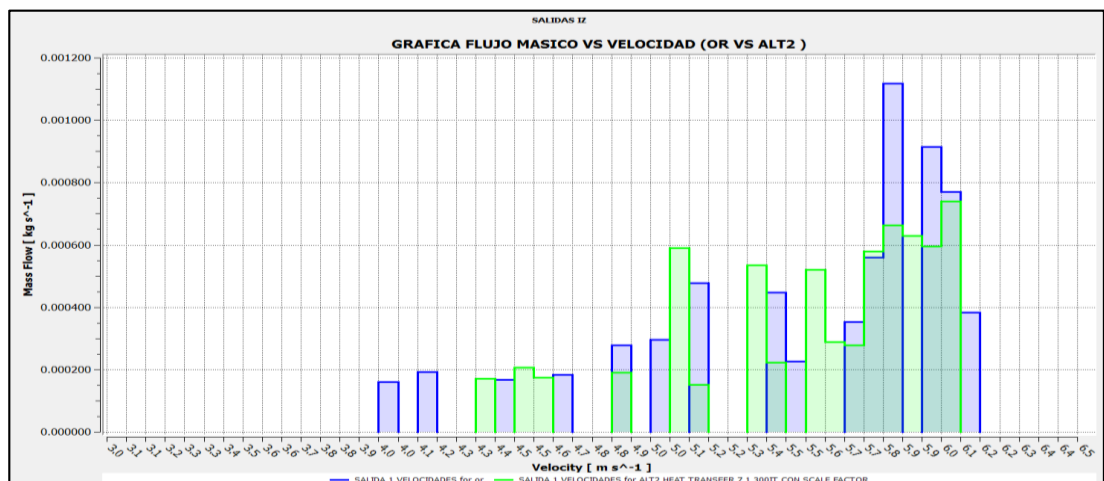


Figura 20-4: Comparación de velocidades a la salida izquierda del silenciador mediante histograma, diseño original (azul) y la alternativa 2 (verde).

Fuente: Autores

De las velocidades obtenidas en los histogramas concluimos que la velocidad de salida de los gases de escape en el diseño original y las alternativas tiene variaciones de velocidades ligeras, con lo que las alternativas no presentan un cambio significativo en el funcionamiento del silenciador a pesar de la reducción del material empleado.

En la tabla 3 se puede apreciar las velocidades medias a las salidas del silenciador original y las alternativas, puesto que las diferencias porcentuales entre las medias del silenciador original y las alternativas no son significativas estadísticamente se puede concluir que las alternativas no generan un freno a la salida de los gases de escape.

Tabla 1-4. Comparación de los valores de velocidad en la entrada y las salidas de los silenciadores.

VELOCIDADES (m/s)						
Entradas	Salidas	Original	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Media	Media	Dif. Original	Media	Dif. Original
1,7m/s- 800rpm	Izquierda	1,43767	1,42497	0,88%	1,41676	1,45%
	Derecha	1,35947	1,36885	-0,69%	1,37455	-1,11%
5,2m/s- 3500rpm	Izquierda	4,46519	4,38424	1,81%	4,40348	1,38%
	Derecha	4,2262	4,24434	-0,43%	4,25323	-0,64%
7,1m/s- 5000rpm	Izquierda	6,09894	6,03435	1,06%	6,037	1,02%
	Derecha	5,79896	5,77559	0,40%	5,81289	-0,24%

Fuente: Autores

4.3.2 Presión interna de las cámaras.

En las presiones internas del silenciador se puede apreciar que la presión manométrica de la primera cámara es mayor que en las alternativas, además que en el ingreso se genera un aumento de presión en el codo de entrada.

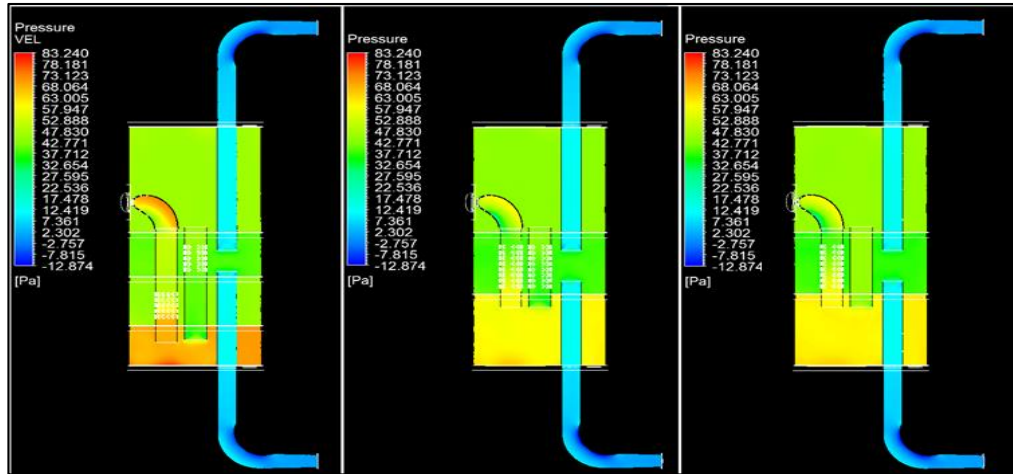


Figura 21-4: Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.3.3 *Temperatura interna del Fluido.*

La temperatura interna del fluido en el silenciador se observa un aumento de la temperatura con la que el fluido sale en el diseño original en relación con los resultados obtenidos en velocidades se puede relacionar que al reducirse la distancia de las trayectorias el fluido no transfiere suficiente calor al sólido.

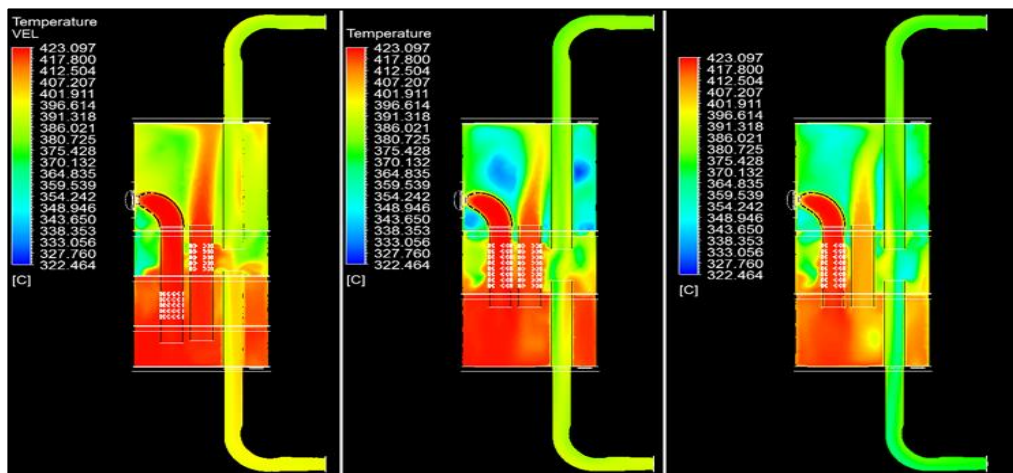


Figura 22-4: Comparación de temperaturas internas del fluido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.3.4 *Transferencia calor al sólido.*

De los resultados obtenidos, la transferencia de calor del fluido al solido del silenciador las alternativas han reducido la cantidad de calor que se transfiere a la tapa lateral izquierda del silenciador, dado que al aumentar el tamaño de la primera cámara y

reducir la longitud del tubo de entrada se ha conseguido que el fluido se distribuya de mejor manera así como el calor en la cámara, y en el original también se observa una mayor temperatura en los tubos de salida del silenciador.

De la comparación entre las 2 alternativa se puede apreciar que la segunda alternativa tiene una menor temperatura a lo largo de la primera cámara que la primera alternativa, y en la tercera cámara primera alternativa tiene una menor temperatura en la superficie del silenciador que la segunda alternativa.



Figura 23-4: Comparación de temperaturas externas del sólido, diseño original (izquierda), alternativa 1(centro) y la alternativa 2 (derecha).

Fuente: Autores

4.3.5 Comparación de temperaturas en un punto.

Para determinar la variación entre las temperaturas de los diseños y en las distintas velocidades. Se utilizó la herramienta “Probe” en la coordenada (0.0559597,0.33703;0.102028) en los modelos CAD y se obtuvo los valores de la tabla 3 en la cual se indica la diferencia porcentual entre la temperatura medida en el punto en el silenciador original y las alternativas planteadas de las cuales la segunda alternativa provee una mayor reducción de la temperatura transferida al solido en ese punto.

Tabla 2-4. Comparación de los valores temperatura transferida al sólido en un punto de la tapa lateral silenciador original y las alternativas.

Temperatura en el punto de prueba				
		1,7m/s- 800rpm	5,2m/s- 3500rpm	7,1m/s- 5000rpm
Original	Temperatura °C	418,364	421,312	421,321
Alternativa 1	Temperatura °C	415,974	419,804	420,429
	Diferencia Original	0,57%	0,36%	0,21%
Alternativa 2	Temperatura °C	395,354	406,386	408,162
	Diferencia Original	5,50%	3,54%	3,12%

Fuente: Autores

4.3.6 Comparación de presiones en un punto.

En la tabla 5 se observa que las presiones absolutas entre los diseños se mantienen en valores similares con ligeras variaciones como consecuencia de esto se puede observar que al reducir las cámaras de 4 a 3 no se da un aumento de las presiones internas en las cámaras del silenciador.

Tabla 3-4. Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.

Presiones (Pa)			
ENTRADAS	800rpm	3500rpm	5000rpm
Original	101329,1585	101367,2836	101403,078
Alternativa 1	101328,5674	101359,563	101389,8756
	0,001%	0,008%	0,013%
Alternativa 2	101328,6931	101360,395	101389,9854
	0,000%	0,007%	0,013%

Fuente: Autores

4.3.7 Comparación del flujo másico en las entradas y salidas en el silenciador.

En la tabla 6 se puede observar la comprobación de la cantidad de flujo en la entrada y la cantidad total obtenida en las salidas para determinar que se cumple con la ley de continuidad teniendo la misma cantidad de fluido a la entrada y a la salida.

Tabla 4-4. Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.

FLUJO MÁSSICO (g/s)				
Entradas	Salidas	Original	Alternativa 1	Alternativa 2
4.04889 g/s-800rpm	Izquierda	2,06812	2,05035	2,0515
	Derecha	1,98076	1,99854	1,99739
	Total	4,04888	4,04889	4,04889
12.3848 g/s-3500rpm	Izquierda	6,33483	6,2782	6,2855
	Derecha	6,04994	6,10669	6,0993
	Total	12,38477	12,38489	12,3848
16.9101 g/s-5000rpm	Izquierda	8,63146	8,62201	8,59958
	Derecha	8,2786	8,28807	8,31055
	Total	16,91006	16,91008	16,91013

Fuente: Autores

4.3.8 *Perdida de transmisión en el silenciador.*

De las simulaciones generadas en el módulo acústico de ANSYS ACT se generó la simulación con los valores para carga completa para de esta manera comprobar el funcionamiento acústico del silenciador en la condición más extrema de funcionamiento del silenciador entre 0 y 3000Hz debido a que es el rango de frecuencia más utilizado para la evaluación de silenciadores.

De la figura 4-22 correspondiente a las gráficas de pérdida de transmisión en el silenciador original y las alternativas, se puede observar que la alternativa 1 tiene un pico de atenuación mucho mayor, mientras que la alternativa 2 tiene una mejor atenuación general del ruido en el silenciador que el diseño original y la alternativa 2.

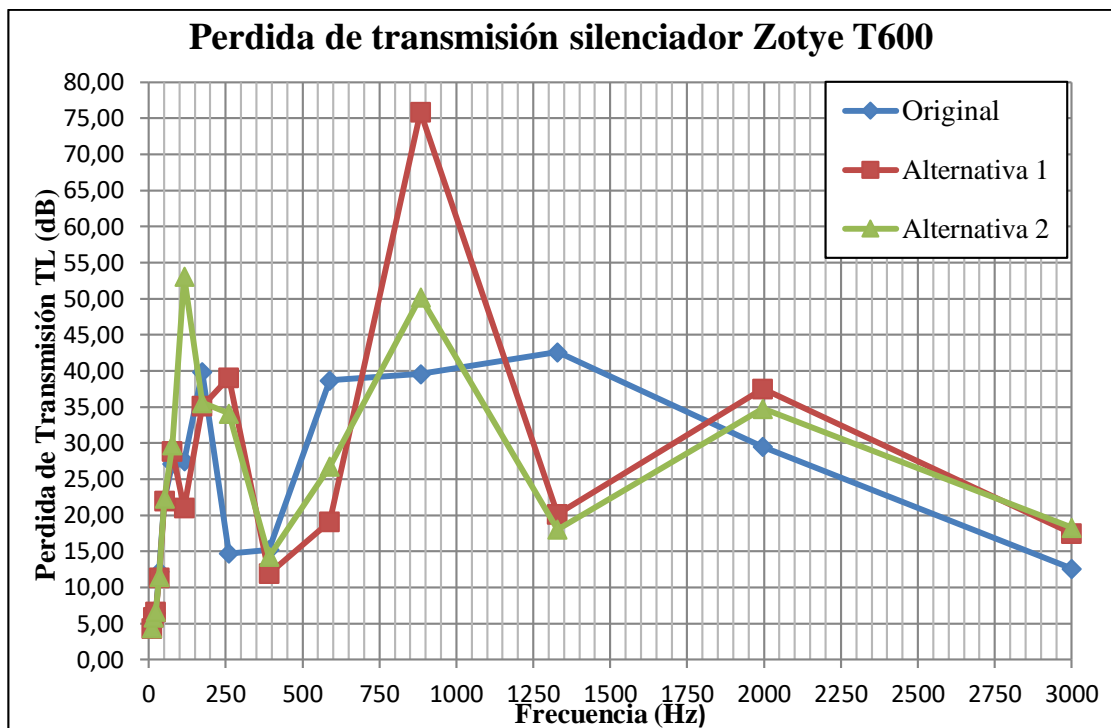


Figura 24-4: Gráfica de pérdida de transmisión en función de la frecuencia.

Fuente: Autores

Tabla 5-4. Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.

Frecuencia	Original	Alternativa 1		Alternativa2	
	TL(dB)	TL(dB)	Dif. Original	TL(dB)	Dif. Original
10,00	4,31	4,33	0,32%	4,35	0,91%
15,02	5,74	5,84	1,86%	5,88	2,51%
22,59	6,48	6,59	1,63%	6,65	2,62%
33,95	12,17	11,33	-6,93%	11,50	-5,56%
51,02	22,23	21,98	-1,15%	22,31	0,33%
76,68	27,17	28,82	6,07%	29,74	9,46%
115,25	27,51	21,00	-23,65%	53,10	93,05%
173,21	39,84	35,10	-11,90%	35,60	-10,66%
260,31	14,70	39,04	165,51%	34,12	132,02%
391,23	15,23	11,89	-21,93%	14,27	-6,28%
587,99	38,68	19,09	-50,63%	26,74	-30,86%
883,71	39,58	75,87	91,70%	50,23	26,91%
1328,15	42,59	20,12	-52,74%	18,02	-57,68%
1996,11	29,50	37,50	27,11%	34,76	17,84%
3000,00	12,61	17,46	38,54%	18,30	45,14%

Fuente: Autores

De la tabla 3 se observa que la alternativa 2 presenta la mayor pérdida de transmisión en 7 de las 15 frecuencias elegidas para generar la gráfica en comparación con el original que tiene 5 de las 15 frecuencias y la alternativa en 3 de 15 frecuencias.

4.3.9 *Perdida de transmisión en el resonador.*

El resonador o presilenciador del sistema de escape se mantiene constante variándose los diseños del silenciador para las alternativas, por lo cual este se mantendrá constante con lo cual la pérdida de transmisión generada estará presente en conjunto con el diseño original y las alternativas.

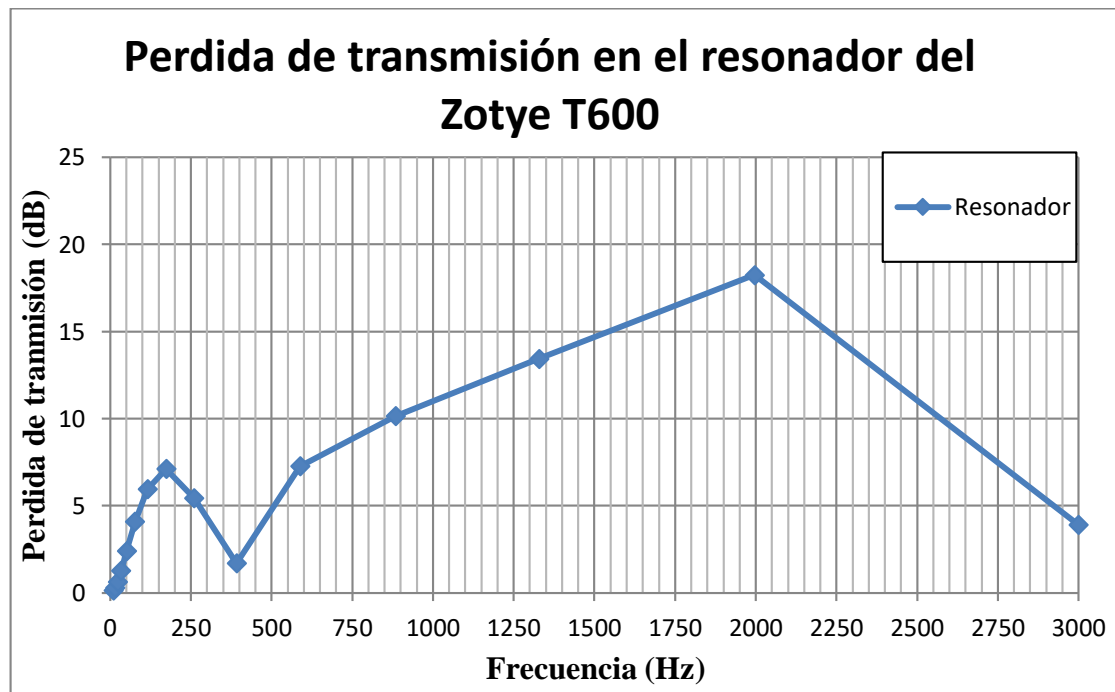


Figura 25-4: Gráfica de pérdida de transmisión en función de la frecuencia del presilenciador.

Fuente: Autores

Podemos concluir que debido a la geometría relativamente simple del presilenciador este presenta un comportamiento más regular en la atenuación de ruido y para tener la atenuación de ruido total se debe sumar la atenuación de ruido del silenciador más la obtenida para el presilenciador, en la tabla 4 se puede observar las pérdidas de transmisión individuales de cada diseño y del presilenciador, así como la pérdida de transmisión total calculada.

Tabla 6-4. Comparación de los valores de pérdida de transmisión en función de la frecuencia para el silenciador original y las alternativas.

Resonador	Original		Alternativa 1		Alternativa2	
TL	TL	TL Total	TL	TL Total	TL	TL Total
0,130381	4,31	4,44	4,33	4,46	4,35	4,48
0,286235	5,74	6,02	5,84	6,13	5,88	6,17
0,616237	6,48	7,10	6,59	7,20	6,65	7,27
1,26858	12,17	13,44	11,33	12,60	11,50	12,77
2,41132	22,23	24,64	21,98	24,39	22,31	24,72
4,07833	27,17	31,25	28,82	32,90	29,74	33,82
5,95061	27,51	33,46	21,00	26,95	53,10	59,05
7,10998	39,84	46,95	35,10	42,21	35,60	42,71
5,42907	14,70	20,13	39,04	44,47	34,12	39,55
1,68829	15,23	16,92	11,89	13,58	14,27	15,96
7,27012	38,68	45,95	19,09	26,36	26,74	34,01
10,1409	39,58	49,72	75,87	86,01	50,23	60,37
13,4357	42,59	56,02	20,12	33,56	18,02	31,46
18,2539	29,50	47,75	37,50	55,75	34,76	53,02
3,89623	12,61	16,50	17,46	21,36	18,30	22,19

Fuente: Autores

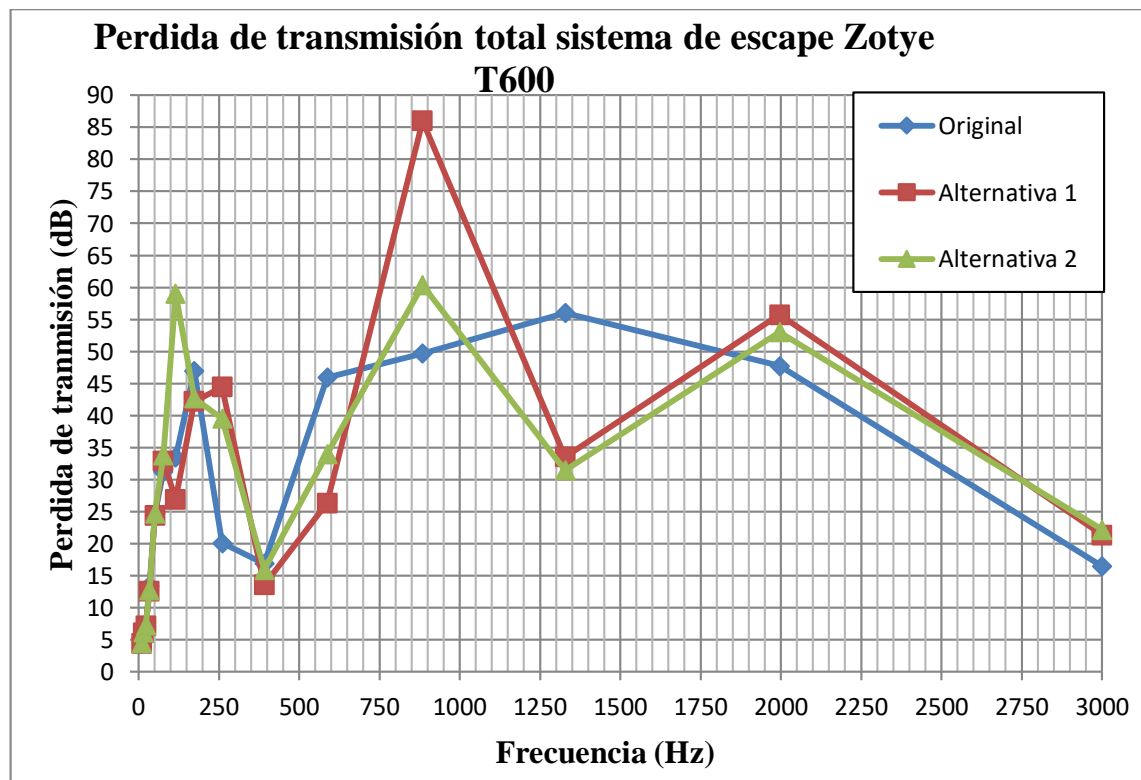


Figura 26-4: Gráfica de pérdida de transmisión total del sistema de escape en función de la frecuencia.

Fuente: Autores

4.3.10 Comparación del material utilizado en el silenciador.

En la tabla 9 se pueden observar la cantidad de material que utilizan los distintos silenciadores y la cantidad que se ahorra en comparación de las alternativas con el silenciador original teniendo que la primera alternativa genera una mayor reducción del material empleado que la segunda alternativa.

Tabla 7-4. Comparación de los valores del volumen del material en el silenciador.

VOLUMEN TOTAL SOLIDO [m ³]	
Original	0,00193677
Alternativa 1	0,00182569
Ahorro de Material	5,74%
Alternativa 2	0,00183155
Ahorro de Material	5,43%

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se obtuvo información acerca del funcionamiento y utilidad de los silenciadores y la influencia de su configuración en su funcionamiento.

Se desarrolló del modelo CAD mediante levantamiento de planos y escaneo 3D con el software SpaceClaim, generando alternativas de diseño al realizar una primera simulación se logró identificar las zonas a enfocarse para las alternativas.

Se logró una reducción de hasta el 5.5% de temperatura en las zonas de mayor transferencia de calor al sólido en el silenciador.

Se generó alternativas de diseño mediante el uso de elementos finitos evitando pruebas experimentales de alto costo.

Se logró una reducción del 5.75% y 5.43% de material respecto al original.

5.2 Recomendaciones

Procurar establecer elementos tetraédricos en tipos de geometría donde las curvaturas son abundantes con un tamaño adecuado de elemento para mejorar la calidad ortogonal.

Utilizar el modelo de turbulencia k-epsilon estándar en simulaciones con flujos complejos y con bajos gradientes de presión.

Establecer una correcta interfaz entre sólido-fluido para evitar una posible divergencia en la ecuación general de transferencia de calor.

Utilizar el modelo Thermal Energy en modelos en los cuales la velocidad del fluido no supere la velocidad de 0.3 mach.

Establecer una geometría única para cada dominio, evitando la generación de contactos que puedan afectar la solución final del análisis.

Verificar que la cantidad de residuales se encuentren por debajo de los límites de convergencia $E \cdot 10^{-4}$ y modificar los factores de convergencia para obtener un periodo de tiempo en el cual la solución sea factible ahorrando uso y tiempo computacional.

BIBLIOGRAFÍA

ANSYS. *Introduction to acoustics*. [En línea] 2016. [Consulta: 28 diciembre 2018.] Disponible en: http://www.cadfamily.com/download-pdf/ANSYS_Rotordynamics/AAC_Tx_R160_L-01_%20Introduction%20to%20Acoustics.pdf.

Arias Paz, Manuel. *Manual de automóviles*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000, 2006. pp. 132-136.

Barreiro, Mariano; et al. *Mejora rendimiento volumétrico*. [En línea] 2012. [Consulta: 01 marzo 2018.] Disponible en: https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M0639/descargar.php?secc=0&id=M0639&id_inc=2900.

CAE Associates Inc. *Calculating solution settings for a transient thermal analysis - Part 1*. [En línea] 2016. [Consulta: 03 marzo 2018.] Disponible en: <https://caeai.com/blog/calculating-solution-settings-transient-thermal-analysis-part-1>.

Cajas Naranjo, Hugo Germán. Digitalización de la nube de puntos 3D generada por el scanner picza LPX-60 para el modelamiento y manufactura de productos industriales mediante algoritmo básico de MATLAB y software libre MESHLAB. [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica del Ejercito, Ecuador. 2016. [Consulta: 17 febrero 2018.] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12056>.

Jeong, Woowon & Seong, Jaehoon. *Comparison of effects on technical variances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods*. 2014, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 78, págs. 19-26. 0020-7403(p).

Davis, Don D Jr; et al. *Theoretical and Experimental Investigation of Mufflers with Comments on Engine-Exhaust Muffler Design*. [En línea] National Advisory Committee for Aeronautics, 1954. [Consulta: 16 septiembre 2017.] Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930092208.pdf>.

Garrett. *TBG Catalog Vol 7*. [En línea] 2018. [Consulta: 08 marzo 2018.] Disponible en: <https://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/sites/default/files/catalog/TBG-Catalog-Vol-7.pdf>.

Hermógenes Gil Martínez. *Manual práctico del automóvil*. Madrid: Cultural S.A., 2008. pp. 4, 31, 432-434. 978-84-8055-758-0.

Hoag, Kevin & Dondlinger, Brian. *Vehicular Engine Design*. 2ª ed. Vienna: Springer Vienna, 2016. 978-3-7091-1859-7.

Masaquiza Moyulema, Washington Israel & Morales Villarroel, Luis Angel. Diseño y validación de un modelo computacional que permita evaluar el cumplimiento de la norma QCCJT003-2014 de sistemas de escape del modelo M4 para CIAUTO Ambato [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

Ecuador. 2017. pp. 34-35. [Consulta: 2018-03-01]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7698>.

Ministerio de Comercio Exterior. *Oferta exportable*. [En línea] 2017. [Consulta: 01 diciembre 2017.] Disponible en: <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/automotriz/>.

Paucar Quinteros, William David & Toapanta Jaramillo, Alex Santiago. Diseño del ducto de escape de los motores ALCO en las cinco estaciones de bombeo del sote. [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2011. pp 30-35. [Consulta: 2017-12-01.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4073>.

Parras, D; et al. *Use of 3D scanning and reverse engineering for the prototyping*. Cartagena, 2016, 20th International Congress on Project Management and Engineering.

Ponce Segovia, Ivan. *Ansys history*. [Blog] 2017. [Consulta: 25 diciembre 2017.] Disponible en: <https://cfdninja.com/cfd/ansys-history/>.

Presidencia de la República del Ecuador. *Libro 6 Anexo5*. [En línea] 2012. [Consulta: 17 noviembre 2017.] Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/index.php/programas/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/158-libro-6-anexo5>.

Prieto Fernandez; et al. *Fundamentos de máquinas térmicas*. Oviedo: Universidad de Oviedo, 2007.

PROECUADOR. *Perfil automotriz*. [En línea] Ministerio de comercio exterior, 2017. [Consulta: 01 diciembre 2017.] Disponible en: <https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PERFIL-AUTOMOTRIZ-FINAL.pdf>.

RecurDyn. *Why MultiBody Dynamics*. [En línea] 2014. [Consulta: 08 enero 2018.] Disponible en: <https://web.archive.org/web/20141021080603/http://www.functionbay.de/why-multibody-dynamics-simulation.html>.

Rojas Lazo, Oswaldo & Rojas Rojas, Luis. *Diseño asistido por computador (diseño y tecnología)*. [En línea] 2006. [Consulta: 08 enero 2018.] Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol9_n1/a02.pdf.

SAE. *Optimizing commercial vehicle muffler size- via CFD*. [En línea] 2014. [Consulta: 21 diciembre 2017.] Disponible en: <http://articles.sae.org/13606/>.

SAS IP.inc. *Shape Checking*. [En línea] 2015. [Consulta: 03 febrero 2018.] Disponible en: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_msh/ds_Shape_Checking.html.

Sharcnet. *Heat Transfer*. [En línea] 2015. [Consulta: 03 marzo 2018.] Disponible en: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/cfx_mod/i1298521.html.

SIEMENS. *Computer aided design CAD* [En línea] 2017. [Consulta: 08 enero 2018.] Disponible en: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>.

SimuTechGroup. *Element quality plots in ANSYS® Mechanical (Workbench) 16.0.* [En línea] 2014. [Consulta: 02 marzo 2018.] Disponible en: <https://www.simutechgroup.com/tips-and-tricks/fea-articles/239-fea-tips-tricks-element-plots-ansys-16>.

Sjodin, Bjorn. *What's The Difference Between FEM, FDM, and FVM?.* [En línea] 2016. [Consulta: 22 febrero 2018.] Disponible en: <http://www.machinedesign.com/fea-and-simulation/what-s-difference-between-fem-fdm-and-fvm>.

SpaceClaim Corporation. *3D Modeling software for engineering.* [En línea] 2015. [Consulta: 25 febrero 2018.] Disponible en: <http://www.spaceclaim.com/en/default.aspx>.

SpaceClaim Corporation. *Software for engeneering Spaceclaim.* [En línea] 2013. [Consulta: 24 febrero 2018.] Disponible en: <http://www.spaceclaim.com/en/Products/ANSYSSpaceClaim.aspx>.

Toyocosta. *Sistema de escape.* [En línea] 20 de 05 de 2014. [Consulta: 01 diciembre 2017.] Disponible en: <http://www.toyocosta.com/blog/wp-content/uploads/2014/05/Sistema-de-escape>.

Universitat Politecnica de Valencia. *Motores de combustión interna alternativos.* [ed.] Francisco Payri González & José Desantes Fernández. Valencia: Editorial Reverté, 2011. 978-84-8363-705-0.

Universidad Rafael Urdaneta. *Conceptos básicos del método de los elementos finitos.* [En línea] 2011. [Consulta: 08 enero 2018.] Disponible en: http://www.uru.edu/fondo_editorial/libros/pdf/elementosfinitos/CAP%201%20COMPLETO.pdf. 978-980-7131-12-4.